



Investimento em Energia Solar Fotovoltaica: uma análise dos  
seus determinantes para uma amostra alargada de países

por

Diogo Manuel de Freitas Martins

Dissertação de Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Faculdade de Economia do Porto

Orientado por:

Professora Doutora Maria Isabel Rebelo Teixeira Soares

2017

## **Nota biográfica**

Diogo Manuel de Freitas Martins, natural de Vila Nova de Gaia, nasceu a 29 de Janeiro de 1992. Licenciou-se em Economia no ano de 2014, pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto.

Após o término da licenciatura, iniciou o seu percurso profissional em 2014 na empresa Jayme da Costa S.A, empresa ligada às energias renováveis, e com projetos na energia solar fotovoltaica. Integrado no departamento administrativo e financeiro, desempenhou funções de contabilidade.

Actualmente encontra-se a desempenhar funções de Gestor de Compras e de Stocks na empresa Rádio Popular S.A desde final de 2016.

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, quero reservar uma palavra de agradecimento à Sra. Prof. Doutora Isabel Soares, pela orientação, interesse e disponibilidade que sempre me manifestou, e sem a qual este trabalho não teria sido possível.

À minha mãe, pela confiança inabalável e apoio incondicional. Gostaria de lhe dedicar este trabalho.

À minha família, à minha irmã, e aos meus amigos. Por serem quem são, e por serem a minha rede de suporte.

Por último, um agradecimento, à Faculdade de Economia da Universidade do Porto, pela oportunidade de aprendizagem e partilha de conhecimento ao longo do meu percurso académico.

## Listagem de Abreviaturas

<b>CIA</b>	<i>Central Intelligence Agency</i>
<b>CSP</b>	<i>Concentrated Solar Power</i> (Energia Solar Concentrada)
<b>EIA</b>	<i>Energy Information Administration</i>
<b>EU (UE)</b>	<i>European Union</i> (União Europeia)
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FiT</b>	<i>Feed-In Tariff</i> (Tarifa Feed-In)
<b>Gw(h)</b>	Gigawatt-(hora)
<b>IDE</b>	Investimento Direto Estrangeiro
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
<b>IRENA</b>	<i>International Renewable Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia Renovável)
<b>I&amp;D</b>	Investigação e Desenvolvimento
<b>Kw(h)</b>	Kilowatt-(hora)
<b>LCOE</b>	<i>Levelized Cost of Energy</i>
<b>Mw(h)</b>	Megawatt-(hora)
<b>O&amp;M</b>	<i>Operations and Maintenance</i> (Operação e Manutenção)
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PV</b>	<i>Photovoltaic</i> (Fotovoltaico)
<b>RES</b>	<i>Renewable Energy Sources</i>
<b>UNFCC</b>	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo avaliar os principais determinantes do investimento da energia solar fotovoltaica. Para tal, recorreu-se à análise de um conjunto de variáveis através da construção de um modelo econométrico, referentes a uma amostra de 52 países, e para o ano de 2015.

Os resultados da estimação permitem concluir sobre o efeito significativo e positivo que as variáveis PIB, emissões de CO<sub>2</sub>, capacidade instalada de energia hídrica, e o consumo de electricidade, exercem sobre o investimento em energia solar fotovoltaica. Por outro lado, a capacidade instalada de energia eólica contribui negativamente para o investimento em energia solar PV.

Face à literatura existente, este estudo tem a particularidade de avaliar a variável LCOE, que é principal medida de avaliação de custos de um sistema energético, enquanto possível determinante do investimento.

### **Palavras-Chave:**

Energia solar fotovoltaica; energias renováveis; investimento; dados em painel;

### **Classificação JEL:**

C23; Q42; Q43

## **Abstract**

This research aims to evaluate the main drivers of solar PV energy investment. For that purpose, we analyzed a set of variables through the construction of an econometric model, regarding a sample of 52 countries and concerning the year of 2015.

The results of the estimation allow to conclude on the significant and positive effect that the variables GDP, CO2 emissions, installed capacity of hydroelectric energy, and the consumption of electricity, exert on the investment in photovoltaic solar energy. On the other hand, the installed capacity of wind energy contributes negatively to the investment in solar PV energy.

Considering the existing literature, this study has the particularity of evaluating the variable LCOE, which is the main measure of an energy system cost, as a probable determinant of the investment.

### **Keywords:**

Solar PV Energy; Renewable Energy; Investment; Panel data;

### **JEL Codes:**

C23; Q42; Q43

# Índice de conteúdos

1. Introdução .....	1
2. A tecnologia do solar fotovoltaico: uma análise económica .....	5
2.1. A energia solar PV: características e aplicações.....	5
2.2. O mercado mundial de energia solar PV.....	8
2.2.1. Alemanha, líder europeu na energia solar fotovoltaica .....	11
2.2.2. China, a “fábrica” mundial do solar PV .....	13
2.3. O contexto da redução de custos enquanto driver do investimento .....	15
3. Revisão da Literatura .....	23
3.1. A justificação para a intervenção regulatória nas energias renováveis.....	23
3.2. O efeito da regulação no desenvolvimento das RES e do Solar PV .....	24
4. Metodologia e resultados empíricos .....	32
4.1. Justificação da amostra .....	32
4.2. Modelo e descrição das variáveis utilizadas .....	34
4.3. Análise de resultados.....	42
5. Conclusões .....	46
Referências Bibliográficas .....	48
Anexos .....	57

Anexo 1 - LCOE de um sistema de larga escala de energia solar PV em 2015 em dólares americanos por MWh (USD por MWh); .....	57
Anexo 2 - Capacidade Instalada Total de Energia Eólica e Energia Hídrica em 2015 ..	59
Anexo 3 - Capacidade Instalada de Energia Solar PV em 2014 e 2015 (em MW); .....	61
Anexo 4 - Worldwide Governance Indicators, ranking por países em percentagem, ano de 2015; .....	63
Anexo 5 - Emissões CO2 de 2015 referentes à utilização de combustíveis fósseis e produção de cimento (em kilotoneladas) .....	65
Anexo 6 - Importações de energia líquidas, em percentagem do consumo de energia, referente ao ano de 2014 (Valores em %); .....	67
Anexo 7- Produto Interno Bruto (PIB) de 2015 a preços correntes, em dólares americanos; .....	69
Anexo 8 - Despesas em I&D em % do PIB por país; .....	71
Anexo 9 -Produção de Eletricidade a partir de energia nuclear (em % do total) .....	74
Anexo 10 - Consumo de Eletricidade em Kwh para os anos de 2014, 2015 e 2016 .....	75
Anexo 11 - Resultados Completos da Estimação .....	77



## **Índice de quadros**

Quadro 1 - Resultados de estimação do modelo econométrico .....	42
---	----

## Índice de Figuras

Figura 1 - Nível de radiação solar mundial e anual, em condições ideais de produção para um sistema solar PV; .....	7
Figura 2 - Capacidade Instalada Mundial por região/país de Energia Solar PV 2006-2016; .....	9
Figura 3 - Capacidade Instalada por país/região em percentagem do total, em 2016; ...	10
Figura 4 - Nova Capacidade Instalada, média da tarifa feed-in, PV LCOE, e preços da electricidade na Alemanha por ano;.....	12
Figura 5 - Percentagem da produção total de módulos PV por região/país entre 1997-2015; .....	14
Figura 6 - Preço dos módulos solares entre 1980 e 2015; .....	19
Figura 7 - Os efeitos da curva de aprendizagem na redução de custos de uma tecnologia de energia;.....	20

# 1. Introdução

Em dezembro de 2015, na cidade de Paris e no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), foi celebrado um acordo histórico entre 196 países com vista à mitigação do aquecimento global e redução dos gases de efeito estufa. O Acordo de Paris, de acordo com o artigo 2º, indica os principais objetivos:

*“(a) assegurar que o aumento da temperatura média global fique abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (...)*

*(b) aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas e promover a resiliência do clima e o baixo desenvolvimento de emissões de gases do efeito estufa (...);*

*(c) criar fluxo financeiros consistentes na direção de promover baixas emissões de gases de efeito estufa e o desenvolvimento resistente ao clima;”<sup>1</sup>*

De modo a alcançar os objetivos traçados no acordo de Paris, os países terão necessariamente que proceder à “descarbonização” da sua economia, com uma redução da dependência dos combustíveis fósseis e incremento da utilização das energias renováveis<sup>2</sup>. Para que tal seja uma realidade, a Agência Internacional de Energia declara, que, a transição energética só será possível, através do aumento massivo de investimento nas energias “verdes”.

No entanto, existe ainda um longo caminho a percorrer. Continua a existir um fosso entre o nível atual e o nível ótimo de consumo mundial de energia renovável, sendo que o investimento mundial em energia continua a ser maioritariamente dirigido para os combustíveis fósseis. (Abolhosseini e Heshmati, 2014). Em 2015, apenas 17% do

---

<sup>1</sup> <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf> (acedido a 20 de Abril de 2017)

<sup>2</sup> Energia renovável corresponde a um tipo de energia proveniente de recursos naturais, como o sol, vento, água, sendo uma fonte de energia continuamente reabastecida pelo ciclo natural da Terra. (Ellaban *et al.*, 2014) adaptado

investimento mundial em fontes de energia foi canalizado para as energias renováveis<sup>3</sup>. Desta forma, o seu contributo no abastecimento energético mundial revela-se aquém do esperado, representado cerca de 19% do consumo mundial de energia. (REN21, 2017)

Quanto à energia solar fotovoltaica, podemos considerar que se trata de um caso paradigmático na atenção que tem suscitado junto dos investidores e outros *stakeholders* a nível internacional. Atualmente, no contexto das energias renováveis, corresponde à tecnologia com o maior volume de investimentos a nível mundial, totalizando 161 biliões de dólares americanos em 2015 (UNEP & BNEF, 2016). De referir, ainda, que em 2015, o solar PV representou 30% de nova capacidade instalada de energias renováveis, apenas superado pela energia eólica. (IRENA, 2017b). Quanto ao emprego, o solar PV constitui o maior empregador mundial no setor das energias renováveis, sendo responsável pela criação de 3,1 milhões de empregos. (REN21, 2017)

Apesar dos elevados fluxos de capital atraídos na última década, e dos indicadores positivos, tanto a nível de novas instalações como na promoção de benefícios económicos como a criação de emprego, verificámos que a dimensão da energia solar fotovoltaica no panorama energético mundial é ainda negligenciável, representando cerca 1,2% da geração global de eletricidade em 2015. (IRENA, 2017b)

As preocupações ambientais irão tornar o solar PV uma fonte de energia cada vez mais importante. Sendo a geração de eletricidade e aquecimento o principal contribuidor para as emissões de CO<sub>2</sub>, representando cerca de 42% das emissões globais em 2014 (IEA, 2016), o objetivo de redução das emissões só será atingido com uma maior propagação de tecnologias energéticas não poluidoras como o solar fotovoltaico.

Além disso, o previsível aumento da população mundial nas próximas décadas, irá acarretar um maior consumo de energia, e coloca novos desafios ao setor elétrico. Prevê-se um aumento de 48% do consumo mundial de energia até 2040 (EIA, 2016) que terá que ser necessariamente garantido através de uma maior proporção de fontes renováveis no *mix* energético final. No entanto, o grau de desenvolvimento de fontes de energia “limpas” encontra-se sobretudo dependente de metas políticas de redução de CO<sub>2</sub>, e por isso dependente de objetivos políticos. (Christensen e Hain, 2017)

---

<sup>3</sup> <https://www.iea.org/media/publications/wei/WEI2016FactSheet.pdf> (acedido a 15 de Maio de 2017)

Esta investigação, alusiva aos determinantes do investimento mundial em energia solar PV, está assente fundamentalmente em três vetores. Primeiro, a referir, a importância crescente do solar PV enquanto instrumento de combate às alterações climáticas. Em segundo lugar, refira-se o contributo positivo desta tecnologia, enquadrada num âmbito mais alargado das energias renováveis, para o aumento da segurança energética<sup>4</sup>. Por fim, destaca-se a alternativa que a energia solar fotovoltaica constitui face à energia nuclear. Diversos países têm adotado metas ambiciosas para a redução da energia nuclear, como por exemplo a Alemanha e o Japão. Desta forma, o solar fotovoltaico, juntamente com a energia eólica, terá um papel de relevo, enquanto alternativa energética.

Além dos fatores mencionados, observa-se uma relativa escassez na literatura de estudos que abordem a tecnologia solar fotovoltaica numa perspetiva económica e global. Ao invés de centrarmos a análise num país em específico, ou de investigarmos a perspetiva individual de um agente económico perante uma decisão de investimento, pretendemos estudar o investimento nesta tecnologia numa ótica global, e analisar os principais fatores influenciadores do crescimento e desenvolvimento do mercado solar PV.

Na verdade, a maioria da literatura, que analisa o solar PV em termos económicos, incide sobre os países da União Europeia, devido a uma maior disponibilidade de dados. Esta situação pode originar um enviesamento dos resultados, não refletindo o seu comportamento global. Deste modo, este trabalho pretende efetuar uma abordagem mais ampla do que é geralmente encontrado na literatura especializada.

Como ponto de partida para a realização desta dissertação, teve-se como base o estudo de Sisodia *et al.*, (2016) que analisa igualmente os determinantes de investimento em solar PV, mas numa perspetiva europeia. Teve-se como objetivo, a análise de um conjunto mais alargado de países, e a inclusão de outras variáveis em estudo, de modo a representarmos de modo fidedigno o investimento mundial em solar fotovoltaico.

---

<sup>4</sup> Segurança energética refere-se à disponibilidade ininterrupta de fontes de energia a um preço considerado justo e adequado. O aumento da segurança energética poderá estar ligado a uma redução da dependência das importações de energia.  
(<https://www.iea.org/topics/energysecurity/subtopics/whatisenergysecurity/>) acedido a 20 de Agosto de 2017

Ao proceder a uma análise quantitativa dos fatores determinantes do investimento numa tecnologia energética inovadora como o solar PV, pretende-se dar um contributo na explicação do fenómeno do investimento, e assim permitir uma melhor compreensão dos riscos envolvidos por parte dos agentes económicos.

Neste contexto, esta dissertação está organizada da seguinte forma. No capítulo 2 realiza-se um primeiro enquadramento da temática em análise. É efetuada uma breve apresentação do que é a energia solar fotovoltaica, e em seguida abordamos esta tecnologia num contexto económico, referindo como está constituído o mercado mundial de energia solar e apresentando os principais *drivers* que permitiram uma redução significativa de custos, e o aumento exponencial de novas instalações.

No capítulo 3, procede-se a uma revisão da literatura que aborda a importância da regulação na promoção e fomento das energias renováveis, aludindo em particular à energia solar fotovoltaica. No capítulo 4, apresenta-se o modelo econométrico, constituído com o objetivo de determinar os principais fatores que influenciaram o investimento nesta tecnologia num dado período de tempo. Em seguida, apresenta-se as conclusões finais, extraídas em sequência dos resultados da estimação, e realiza-se uma breve comparação com a literatura existente.

A seguinte dissertação encontra-se enquadrada na área da Economia da Energia. Este ramo da ciência económica emergiu como uma área de especialização económica, em resultado do primeiro choque petrolífero. A interação da procura com a oferta de energia, assim como questões como o financiamento e o investimento de projetos de energia são o principal ramo de estudo desta vertente económica. (Bhattacharyya, 2011)

## **2. A tecnologia do solar fotovoltaico: uma análise económica**

No presente capítulo, assiste-se a uma breve apresentação da tecnologia solar fotovoltaica. Pretende-se expor o seu contexto histórico e revelar como se encontra constituído o mercado mundial desta tecnologia. Posteriormente, serão analisados os principais fatores que permitiram uma redução significativa dos custos de produção, e que foram decisivos para o desenvolvimento do solar PV ocorrido nos últimos anos.

### **2.1. A energia solar PV: características e aplicações**

A geração de energia solar envolve a utilização direta do sol para aquecimento de águas através de um sistema solar térmico, ou para produção de eletricidade através de um sistema solar fotovoltaico (PV) ou de um sistema concentrado de energia solar (CSP).

Um sistema PV converte diretamente a energia solar em eletricidade. A base do sistema assenta na célula solar, que consiste num material semiconductor, que quando em contacto com a luz solar, reage através da libertação de eletrões, formando assim eletricidade. Um módulo é constituído por diversas células, e em conjunto com outros componentes como inversores, baterias, componentes elétricos e sistemas de montagem constituem um sistema completo de solar fotovoltaica.<sup>5</sup>

Ao contrário da tecnologia CSP, o solar fotovoltaico apresenta a vantagem de utilizar, não apenas a luz direta do sol, mas também a sua componente difusa, ou seja, permite a produção de eletricidade mesmo que o céu não esteja completamente limpo. Todavia, a produção de eletricidade de um sistema solar PV depende sobretudo dos níveis de radiação solar do local onde o sistema se encontra instalado (Dinçer, 2011)

Um sistema solar fotovoltaico pode ser classificado em duas categorias, de acordo com a sua interligação à rede elétrica. Um sistema *off-grid* corresponde a um sistema sem conexão à rede elétrica, utilizado essencialmente para autoconsumo de energia. Por

---

<sup>5</sup> <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells> (acedido a 10 de Junho de 2017)

outro lado, um sistema *on-grid*, refere-se a um sistema ligado à rede elétrica, em que a produção de eletricidade é diretamente inserida e distribuída por um operador de energia. (REN21, 2017)

A produção de eletricidade através da utilização de módulos solares teve a sua origem nos Estados Unidos da América em 1954. Após a sua descoberta, a comercialização dos módulos, concentrava-se essencialmente na indústria aeroespacial (IRENA, 2016). Em 1973, o 2º choque petrolífero provocou um grande incentivo para o desenvolvimento de tecnologias limpas de energia, sobretudo nos países importadores de petróleo. A subida repentina dos preços do petróleo nos mercados internacionais deteriorou as condições económicas dos países mais dependentes desta matéria-prima. Estes países incentivaram o desenvolvimento de novas tecnologias de energia, inicialmente através da orientação das despesas de investigação e desenvolvimento, tendo provocado um aumento da procura de novos componentes. (Timilsina *et al.*, 2012)

No início da década de 80, assistiu-se ao colapso da indústria do solar PV, sobretudo devido a uma nova queda dos preços do petróleo e a retirada dos apoios políticos. Desde o início do milénio, com o surgimento da problemática das alterações climáticas e a acentuada volatilidade do preço do petróleo, o mercado ressurgiu. Desde então, tem-se assistido a um rápido crescimento do solar PV a nível mundial.

O desenvolvimento do solar PV esteve associado às suas características inerentes, que apresentam as seguintes vantagens. Segundo Sampaio e González (2017), a principal vantagem do solar PV decorre do facto da produção de eletricidade ser realizada a nível local. Desta forma, o solar PV permite a redução dos custos de transporte e transmissão de eletricidade, e pode ser vista como solução para a eletrificação de zonas rurais e pobres dos países subdesenvolvidos. Após a implementação de um sistema, os custos de operação e manutenção são relativamente baixos, sendo que o solar PV apresenta ainda um custo marginal de produção de eletricidade próximo de zero.

Tecnicamente, a energia solar PV apresenta um potencial energético que supera toda a procura mundial de energia. (Timilsina *et al.*, 2012) O principal desafio, segundo Dinçer (2011), consiste no aumento da capacidade de armazenagem, de modo a permitir uma gestão mais eficiente.



No entanto, a principal vantagem da energia solar PV decorre dos seus benefícios ambientais. A tecnologia solar PV é considerada uma fonte de energia sustentável, com níveis reduzidos de emissão de GEE e ausência de emissões de CO<sub>2</sub>. (Peng *et al.*, 2013)

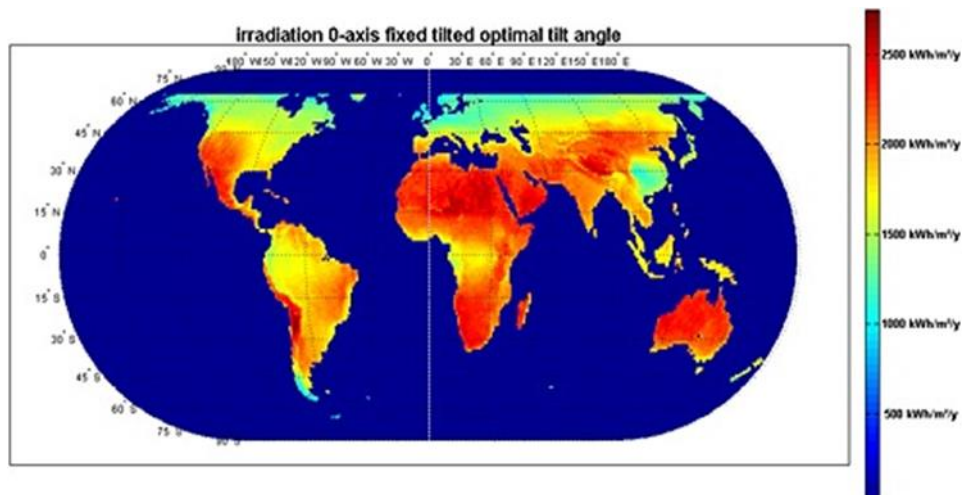


Figura 1 - Nível de radiação solar mundial e anual, em condições ideais de produção para um sistema solar PV; Fonte: Breyer e Gerlach (2013)

O solar PV apresenta contudo algumas limitações que impedem que haja uma maior propagação. É um sistema de energia, que no caso de um sistema de larga escala, requer um avultado investimento inicial, e necessita de uma grande área geográfica para instalação (Silveira *et al.*, 2013) Devido ao facto de a comercialização do solar fotovoltaico ser relativamente recente, existem limitações na disponibilidade de componentes em alguns mercados. Além disso, o facto de a produção estar dependente das condições atmosféricas, dificulta o desenvolvimento desta tecnologia em territórios onde tais condições não são as ideais. (Swift, 2013)

Segundo Timilsina *et al.*, (2012) a rápida expansão do solar PV só foi possível devido às políticas de incentivo, ao aumento da volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis, e aos constrangimentos ambientais que incentivaram o fomento de energias “limpas”. Os autores indicam que o desenvolvimento global do solar PV tem que ultrapassar um conjunto de barreiras técnicas, económicas e institucionais. As barreiras técnicas correspondem aos constrangimentos relacionados com o estado atual da tecnologia. A baixa eficiência dos módulos solares, ou limitações de ordem técnica em alguns componentes do sistema (como baterias, ou inversores) são um exemplo

representativo. Além desse aspeto, como referem Edenhofer *et al.* (2013), ao contrário de outras fontes de energia como a nuclear ou a hidroelétrica que garantem uma fonte de abastecimento de energia relativamente previsível e contínua, a energia solar apresenta um *output* de produção variável, sujeita às condições atmosféricas, e em alguns períodos intermitente.

As barreiras económicas apontam sobretudo para os avultados investimentos iniciais, sobretudo no caso de sistemas de maior dimensão. Por outro lado, Jacobsson e Johnson (2000) consideram que as energias de origem renovável estão em desvantagem face às fontes convencionais de energia, em termos de decisões de investimento, em virtude das infraestruturas já existentes, o que diminui os custos iniciais de investimento, e uma maior experiência acumulada na execução de projetos de energia, que permitirá reduzir o risco dos investidores. O financiamento é outra das barreiras económicas apresentada. As instituições de crédito, em resultado da incerteza e relativa inexperiência na avaliação deste tipo de projetos, atribuem uma notação de risco superior, praticando taxas de juros mais elevadas na concessão de empréstimos.

Por último, considera-se as barreiras institucionais como constrangimento evidente ao desenvolvimento do solar fotovoltaico. Os autores apontam para a falta de trabalhadores qualificados no setor, ou ainda para o facto das leis e os regimes regulatórios existentes estarem desfasados da situação atual, o que impede uma maior propagação da tecnologia. A burocracia, expressa por exemplo, na necessidade de aprovação de projetos por múltiplos organismos, é outro dos exemplos apresentados.

## **2.2. O mercado mundial de energia solar PV**

O mercado mundial de energia solar fotovoltaica tem revelado um crescimento exponencial. No ano 2006, de um valor de 6 Gw de capacidade mundial instalada, verificou-se um aumento para cerca de 303 Gw, no final de 2016. (REN21, 2017). No espaço de uma década, a capacidade instalada global multiplicou-se em cerca de 50 vezes.

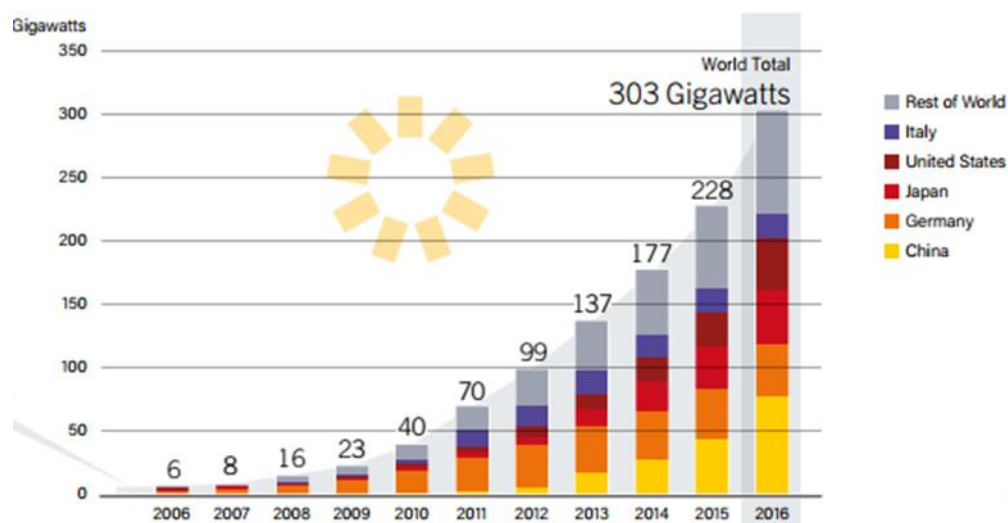


Figura 2 - Capacidade Instalada Mundial por região/país de Energia Solar PV 2006-2016; Fonte: REN21 (2017)

O continente europeu foi pioneiro no desenvolvimento do mercado solar fotovoltaico. Até 2011, cerca de 75% da capacidade instalada mundial de solar PV encontrava-se na Europa. Durante o período 2000-2010, os países europeus, apresentaram, ano após ano, e no seu conjunto, os maiores valores de investimento mundial. No caso europeu, o crescimento espetacular do solar PV surgiu em resultado de políticas promotoras das energias renováveis. O objetivo traçado em 2007 nos países da União Europeia para um contributo de 20% das RES no total de eletricidade produzida em 2020 levou os países a adotar instrumentos políticos de incentivo às renováveis, incluindo a energia solar fotovoltaica. De acordo com o relatório “*Renewable Energy Progress Report*”, o seu desenvolvimento tem como objetivo tornar a União Europeia líder mundial neste setor, sendo que o seu plano assenta em quatro vertentes: aumentar a segurança energética (ao reduzir as importações de combustíveis fósseis), aumentar a eficiência energética, permitir a descarbonização do sistema energético europeu, e contribuir decisivamente para a inovação tecnológica, através da criação de patentes e apoiando a pesquisa e desenvolvimento de soluções energéticas inovadoras. (Comissão Europeia, 2017)

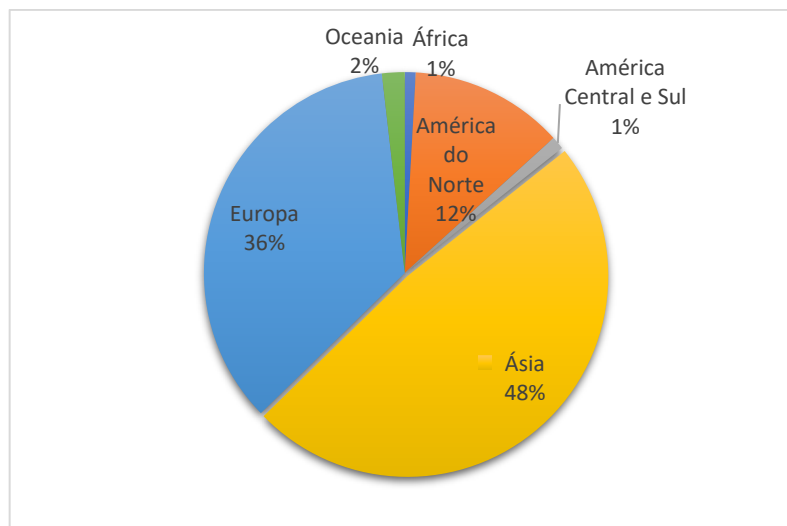


Figura 3 - Capacidade Instalada por país/região em percentagem do total, em 2016; Fonte: IRENA (2017a) adaptado

Até 2011, como referem Avril *et al.*, (2012) os elevados custos de geração de energia solar não desempenharam uma questão central na evolução dos investimentos, em virtude da “subsidiarização” da produção por parte das autoridades políticas, principalmente nos países europeus.

O ano de 2013 revelou-se um ano decisivo, pois pela primeira vez, o continente asiático, com a liderança da China, ultrapassou a Europa, em termos de nova capacidade instalada. Os países europeus, em resultado dos efeitos da crise económica financeira, sentidos com maior intensidade entre 2011 e 2012, reduziram os esquemas de suporte às energias renováveis. Em 2013, e pela primeira vez em 12 anos, o mercado europeu decresceu em termos de nova capacidade instalada, face ao ano anterior. (Pablo-Romero, 2013)

Desde então, o continente asiático tem revelado os maiores níveis anuais de investimento e de novas instalações em solar PV. Em 2016, e pela primeira vez, o continente asiático assumiu o primeiro lugar em termos de capacidade instalada total, representado cerca de 48% do total das instalações mundiais. (IRENA, 2017a)

Em 2016, constatámos que o *top 6* mundial em termos de capacidade instalada por país, apresenta, por ordem decrescente, a seguinte representação: China (77,8 Gw), Japão (41,6 Gw), Alemanha (41 Gw), EUA (33 Gw), Itália (19,2 Gw) e Reino Unido (11,2 Gw)

Iremos de seguida analisar em detalhe dois casos particulares de países líderes no desenvolvimento do mercado solar PV, nomeadamente a Alemanha e a China. Como afirma Grau *et al.*, (2012) a criação de programas nacionais de desenvolvimento do solar nestes países, foi essencial para o desenvolvimento da tecnologia, e para a construção de um mercado global.

### *2.2.1. Alemanha, líder europeu na energia solar fotovoltaica*

A promoção da energia solar fotovoltaica na Alemanha encontra-se enquadrada num âmbito mais alargado de fomento das energias renováveis.

O “sucesso” alemão na promoção de energias renováveis, deve-se segundo Gerhardt (2017) ao facto de a Alemanha ter implementado políticas consistentes e duradouras numa fase anterior à generalidade dos países. As políticas surgiram, em resultado da opinião pública, que manifestou o interesse no crescimento da utilização das energias renováveis, e no abandono da energia nuclear. (Wüstenhagen e Bilharz, 2006).

O aumento da capacidade instalada no país ocorreu na década de 90, e deve-se à implementação da tarifa *feed-in*, enquanto principal instrumento de promoção das energias renováveis. Desde o ano de 2000 o governo alemão tem estabelecido objetivos ambiciosos para a transição energética de modo a aumentar a contribuição das energias renováveis no consumo final de energia, de 14,9% em 2015 para 60% em 2050. O desenvolvimento das energias renováveis acarreta ainda três objetivos como a redução dos gases de efeito estufa em 40% no ano de 2020; o “*phase-out*” da energia nuclear em 2022, e a garantia de segurança e competitividade da oferta energética. (Strunz, 2014).

Relativamente ao solar PV, deve-se assinalar, que à primeira vista, o país, devido aos baixos níveis de radiação solar, não apresenta nenhum incentivo para a produção de eletricidade a partir da energia solar.

A implementação de uma tarifa *feed-in* generosa, acima do preço de mercado, revelou-se um fator determinante para os investidores interessados na produção de eletricidade a partir do solar fotovoltaico. Como considera Grau *et al.*, (2012), além da tarifa *feed-in*, existem outras medidas, como o apoio público a iniciativas de I&D e a existência de esquemas de suporte a financiamento, que são exclusivos para projetos de energia solar PV. Deve referir-se ainda que a concessão de empréstimos a taxas de juro inferiores às de mercado, através de um banco público, ou a concessão de garantias públicas, fomentaram igualmente o crescimento da energia solar fotovoltaica em território alemão.

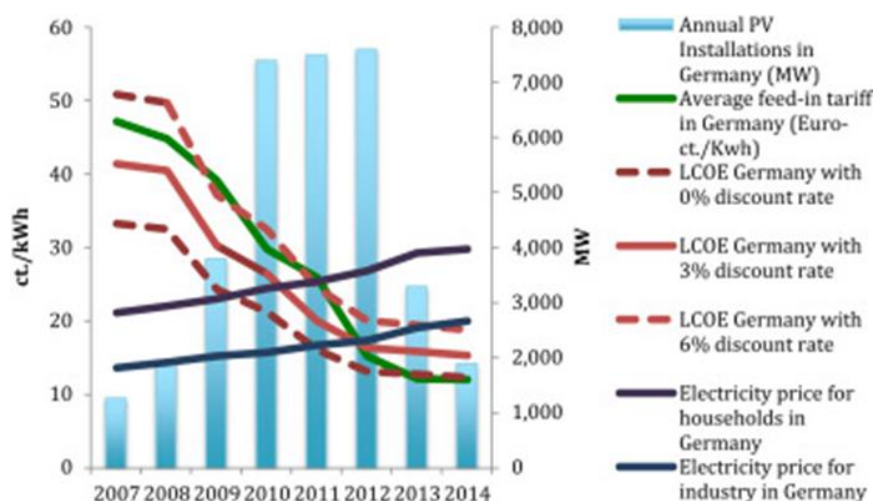


Figura 4 - Nova Capacidade Instalada, média da tarifa *feed-in*, PV LCOE, e preços da electricidade na Alemanha por ano; Fonte: Karneyeva e Wüstenhagen (2017)

O país apresenta o maior mercado europeu, sendo que, 7,5% da eletricidade consumida na Alemanha em 2015 proveio da energia solar PV. (Fraunhofer ISE, 2017b). Em 2015,

o país representou cerca de 42% da capacidade total instalada nos 28 países da União Europeia<sup>6</sup>.

Segundo Karneyeva e Wüstenhagen (2017), o aumento das instalações no país sustentou a redução de custos, e permitiu a diminuição progressiva da tarifa *feed-in* por parte das autoridades governamentais. Seel *et al.*, (2014) apontam ainda outros fatores decisivos na descida de preços como o número elevado de empresas ligadas à instalação, e a grande dimensão do mercado residencial.

### 2.2.2. China, a “fábrica” mundial do solar PV

De modo a analisarmos a energia solar fotovoltaica na China, devemos considerar duas vertentes, imprescindíveis para o desenvolvimento do mercado no país: a indústria produtora de painéis solares, e as políticas públicas de incentivo às energias renováveis e em particular ao solar fotovoltaico.

Relativamente à indústria, o seu desenvolvimento, deveu-se, como considera Zhang e He (2013), ao aumento da procura mundial. O início das políticas promotoras do solar PV em 2004, sobretudo nos países europeus, dispararam a procura mundial de componentes.

Inicialmente, o mercado do solar PV no país concentrou-se essencialmente na produção de painéis solares, especializando-se maioritariamente na produção de células e módulos solares. A produção destinava-se na sua grande maioria aos mercados externos, apresentando taxas de exportação entre 90 a 95% da produção total.

Segundo Zhang *et al.*, (2014), em termos de capacidade instalada, e até 2008, o alto custo do solar PV conteve o crescimento das instalações no país. Os projetos iniciais implementados correspondiam na sua maioria a projetos *off-grid*, localizados em zonas rurais, e de baixa dimensão.

Em 2008, a crise económico financeira global provocou uma redução do mercado externo. Ocorreu uma redução das políticas de incentivo em diversos países e em

---

<sup>6</sup> A partir de *Renewable Energy Statistics 2017* (IRENA, 2017a), cálculo próprio

resultado do excesso de oferta, os produtores chineses enfrentaram grandes dificuldades. As investigações por práticas *anti-dumping* nos países da União Europeia e EUA tiveram como alvo as importações chinesas de painéis, e contribuíram para um agravamento da crise dos produtores chineses.

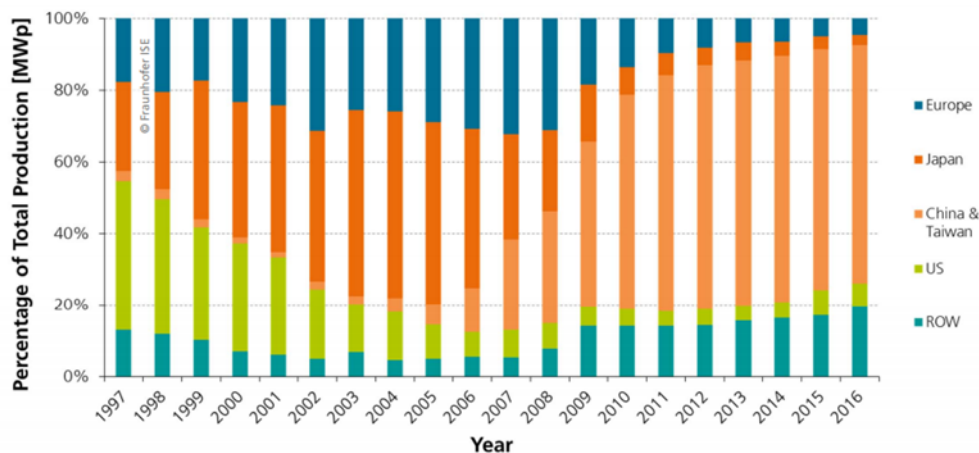


Figura 5 - Percentagem da produção total de módulos PV por região/país entre 1997-2015; Fonte: Fraunhofer ISE (2017b)

Em resultado da crise financeira, o governo chinês reconheceu a necessidade de intervenção, de modo a estimular a procura interna e reduzir a dependência dos mercados externos. Desde modo, e desde 2009, foram implementadas um conjunto de políticas, incluindo a criação de subsídios diretos para as instalações do solar PV, e a introdução de uma tarifa nacional *feed-in*, idêntica para todas as regiões administrativas chinesas. A introdução da tarifa *feed-in* em 2011, teve, segundo Zhang e He (2013) dois objetivos: apoiar a indústria doméstica local e aumentar a percentagem de energia solar no *mix* energético do país. Segundo os autores, apesar da tarifa apresentar algumas limitações como o facto de não considerar as diferenças regionais em termos de radiação solar, foi essencial para o aumento de instalações no país.

Com o programa *Golden Sun Demonstration Project*, implementado em 2009, as autoridades chinesas apoiaram diretamente a instalação de mais de 500 MW durante 3 anos, comparticipando em cerca de 50% os custos totais dos sistemas *on-grid*, e em 70% os sistemas *off-grid* abaixo de 300 Kw<sup>7</sup>. Outras iniciativas, como a abertura de

<sup>7</sup> <http://chinacarbon.net.cn/golden-sun-programme-overview/> (acedido a 15 de março de 2017)



concursos públicos para a construção de sistema de larga escala, contribuíram, para a adição de mais 290 Mw em termos de capacidade instalada, e contribuíram para o rápido desenvolvimento do mercado interno a partir de 2009.

Como consequência, e desde 2010, as instalações de energia solar PV em território chinês tem crescido de forma exponencial. De um total de 800 Mw em 2010, a capacidade instalada total cifrou-se em 2011 em 3300 Mw, e em 17800 Mw no ano de 2012.

As políticas de apoio à tecnologia solar estão enquadradas num âmbito mais alargado de promoção das energias renováveis. Zhao *et al.*, (2011) denotam as excelentes condições naturais para a produção de eletricidade a partir do solar fotovoltaica. Dinçer (2011) assinala a necessidade de redução da dependência do carvão, principal recurso energético do país, e redução das emissões do CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis como justificação para a aposta das energias renováveis. Como resume Lin e Wesseh (2013), o investimento em energias renováveis revelou-se um fator determinante para satisfazer o aumento da procura de energia, melhorar as infraestruturas energéticas, reduzir a poluição ambiental, estimular o crescimento económico e criar oportunidades de emprego.

### **2.3. O contexto da redução de custos enquanto *driver* do investimento**

O surgimento da energia solar PV como uma alternativa aos combustíveis fósseis só foi possível graças a uma redução dramática dos custos totais. A descida de preços teve um papel decisivo, ao permitir uma maior competitividade da tecnologia e ao tornar investimentos inviáveis em soluções de rentabilidade para os investidores.

De modo a analisarmos os custos totais de produção de um sistema energético, deve-se recorrer ao conceito internacional de LCOE (*Levelized Cost of Energy*), que é uma medida económica que avalia o custo total de um sistema energético, incluindo os custos de investimento inicial, manutenção, combustível e o custo de capital, com o total de energia produzido durante o seu tempo de vida útil. A vantagem de utilização do LCOE prende-se com o facto de considerar os custos distribuídos pela duração total

do projeto, e, segundo Bazilian *et al.*, (2013) dá-nos uma perspetiva económica mais geral da competitividade de um sistema, pois tem em consideração outros fatores como o preço da eletricidade na análise de custos.

Apesar da forte redução de custos verificada, a tecnologia do solar PV continua a ser cara, quando comparada com outras fontes de energia convencionais ou mesmo renováveis, como a energia eólica ou a biomassa. Por exemplo, através do relatório *Projected Costs of Solar PV*, conferimos que, dados referentes aos Estados Unidos da América, indicam um LCOE do solar PV em 2015, a uma taxa de desconto de 10%, de 150,76 dólares por MW instalado, comparado com um custo de 70,62 dólares para a energia nuclear, 39,20 dólares para o carvão, e 17,94 dólares para a produção de eletricidade a partir de gás natural. (IEA & NEA, 2015)

Contudo, e analisando o mesmo período temporal, entre 2005 e 2015, o LCOE de um sistema PV reduziu-se consideravelmente. A título de exemplo, o LCOE de um sistema PV instalado na Alemanha podia variar entre 427,2 e 609,4 dólares americanos (IEA & NEA, 2005), sendo que, o custo do mesmo projeto, uma década depois, cifrava-se entre 157,13 e 275,87 dólares americanos, considerando uma taxa de desconto idêntica de 10%.

Subsistem, no entanto, diferenças assinaláveis entre países e regiões. Em primeiro lugar, Swift (2013) indica que os custos e retornos financeiros de um sistema solar PV dependem sobretudo do local onde o sistema se encontra instalado. Refere-se ainda que a viabilidade de um investimento em energia solar PV encontra-se condicionada a quatro principais fatores, que podem traduzir diferenças significativas de custos, sendo eles:

- i. Preço da eletricidade;
- ii. Níveis de radiação Solar;
- iii. Custos totais do sistema, incluindo as despesas de instalação e O&M
- iv. Incentivos financeiros, garantidos pelos decisores políticos ou outros agentes económicos.

Um elevado preço da eletricidade, segundo Breyer e Gerlach (2013), induz a uma maior competitividade das empresas envolvidas no setor. Os autores afirmam que os países

com bons níveis de radiação solar e com elevados preços de eletricidade revelam mais incentivos para a produção de eletricidade a partir desta fonte de energia.

Outros aspetos, como as condições do mercado e de financiamento são igualmente decisivas e com impacto nas variações de preços a nível global. A dimensão do mercado solar fotovoltaica, segundo Ondraczek *et al.*, (2015) induz a uma maior competitividade das empresas e permite a redução progressiva de custos. Os custos de financiamento no caso do solar PV assumem igualmente uma grande preponderância. Segundo Bazilian *et al.* (2013) os custos financeiros desde 2014 têm diminuído, em sequência de uma melhor compreensão dos riscos envolvidos. Darling *et al.*, (2011) referem que as incertezas financeiras, traduzidas por variações da taxa de desconto e em resultado de diferentes perceções do nível do risco são o principal fator determinante do LCOE, seguida pela *performance* do sistema.

Como defende Ondraczek *et al.*, (2015), as políticas para desenvolver a adoção do solar PV devem-se focar essencialmente em tornar os custos de financiamento mais baixos, sendo que, os países mais atrativos ao investimento são os países que apresentam as melhores condições no acesso a financiamento, ao invés dos países com os níveis de radiação solar mais forte.

Devemos igualmente centrar a nossa análise no papel que os módulos e painéis solares desempenham na redução de custos observada na última década. Atualmente, o custo dos módulos representa a maior percentagem de custos, correspondendo a cerca de 55% dos custos totais de um sistema (Fraunhofer ISE, 2015). No entanto, e segundo Candelise *et al.*, (2013), o mercado dos painéis solares corresponde a um mercado de natureza global, em que os preços são relativamente idênticos para todos os países, sendo que, as diferenças de custo entre países não podem ser explicadas por este fator.

Segundo Bazilian *et al.*, (2013) o preço dos módulos entre 2004 e 2008 manteve-se praticamente inalterado, cifrando-se em média, entre 3,50 e 4 dólares americanos por *watt*. O aumento da procura mundial, fez com que, os produtores, graças aos avanços tecnológicos verificados, reduzissem os custos de produção, aumentando assim as margens de lucro. Em 2009, o fim abrupto do regime *feed-in* em Espanha, e a redução de incentivos noutros países, em resultado da crise financeira de 2008, provocou um excesso de oferta no mercado. Os produtores viram-se obrigados a diminuir os preços

de venda, verificando-se uma diminuição do preço para 2 dólares por *watt*. Atualmente, os preços dos módulos, situam-se abaixo do 1 dólar americano por *watt*. (Fraunhofer ISE, 2015)

A literatura atribui a descida drástica dos preços dos módulos aos efeitos decorrentes da curva de aprendizagem. O conceito de curva de aprendizagem (*learning curve*) foi inicialmente introduzido por Wright (1936), e decorre da observação de que à medida que a “quantidade produzida de um bem duplica, o número de horas diretas de trabalho necessárias para a produção de uma unidade, diminui a uma taxa uniforme” O autor demonstrou que no caso concreto da produção de estruturas para aviões, o custo da variável trabalho diminuiu 20% sempre que a capacidade cumulativa de produção duplicou. Ou seja, na sua concepção original, a experiência de produção acumulada causa um aumento da produtividade do trabalho, e representa, segundo Kohler *et al.*, (2006) a forma mais comum de abordar e incorporar os efeitos endógenos das alterações tecnológicas. São mais utilizadas para descrever tendências relativamente ao futuro da capacidade produtiva, através de uma previsão dos custos históricos.

A avaliação da curva de aprendizagem é principalmente realizada através do conceito de *learning by doing*. Arrow (1962) introduziu este conceito pela primeira vez, através da observação empírica que a execução de tarefas repetitivas na produção de bens tem um efeito positivo no processo produtivo. Tal deve-se a um conjunto de fatores, como por exemplo a um aumento da eficiência do trabalho, a alterações dos métodos de produção ou a modificações na estrutura administrativa. (Kahouli-Brahmi, 2008).

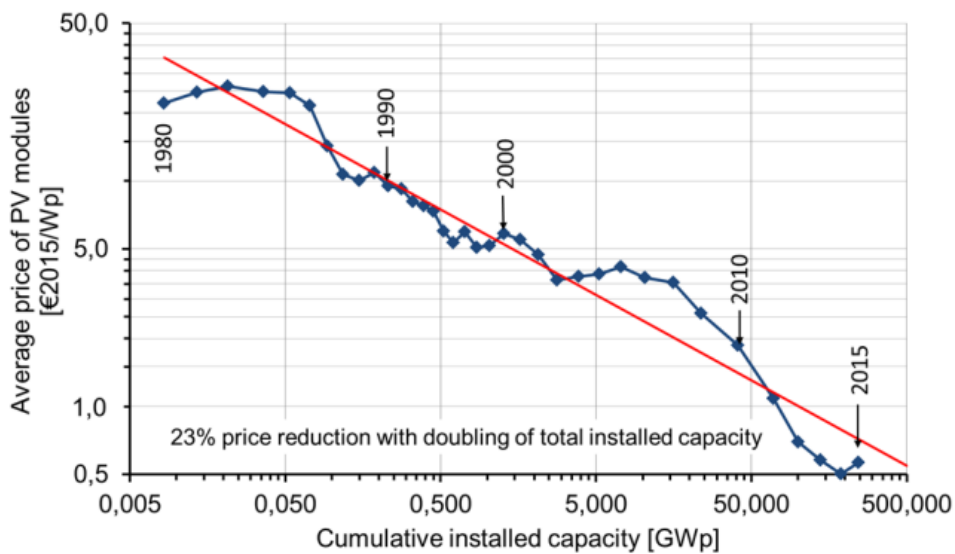


Figura 6 - Preço dos módulos solares entre 1980-2015; Fonte: Fraunhofer ISE (2017a)

No caso da energia solar PV, a literatura atribui taxas de aprendizagem geralmente superiores a outras fontes de energia. Historicamente, e segundo Papaefthimiou *et al.* (2016) nenhuma tecnologia de cariz energético apresentou um fator de aprendizagem tão elevado como a energia solar fotovoltaica.

Os principais estudos referem-se em concreto ao caso específico dos módulos solares, principal componente de um sistema PV como exemplo representativo dos efeitos da curva de aprendizagem na redução de preços.

Parente et al. (2002), recorrendo ao conceito de *learning-by-doing*, referem que, entre 1981 e 2000, a taxa de aprendizagem dos módulos solar PV, situou-se nos 23%. Ou seja, cada vez que a produção de módulos PV duplicou, o preço dos painéis reduziu-se em 23%. O instituto de investigação Fraunhofer ISE (2017a), apresenta a mesma taxa de aprendizagem, mas para um período temporal relativamente maior, entre 1980 e 2015.

No entanto, a abordagem, recorrendo ao conceito de *learning-by-doing* pode revelar-se bastante simplificada. Nemet (2009) refere que as taxas de aprendizagem variam bastante com o período em análise, e, no caso do solar PV, dependem sobretudo do preço do silício, que é a principal matéria-prima dos painéis solares. Yu *et al.*, (2011) observaram que, em certos períodos, o preço dos módulos estabilizou, ao mesmo tempo

que a produção aumentou, e que o conceito do *learning-by-doing* é apenas adequado para fases embrionárias de tecnologias.

Yu *et al.*, (2011) num estudo mais alargado sobre o efeito de outros fatores na redução do preço dos módulos solares entre 1976 e 2006 chegam às seguintes conclusões. Tal como expresso por Nemet (2009), o preço do silício revelou-se um fator importante nas alterações de custos dos módulos PV. Os autores revelam, que no período final da amostra, entre 1998 e 2006, o efeito escala ganha importância na explicação de redução de custos. À medida que surgiu um aumento da dimensão média de um sistema solar PV, ocorreu uma redução de custos, referente a uma taxa de efeito de escala na ordem dos 11,6%.

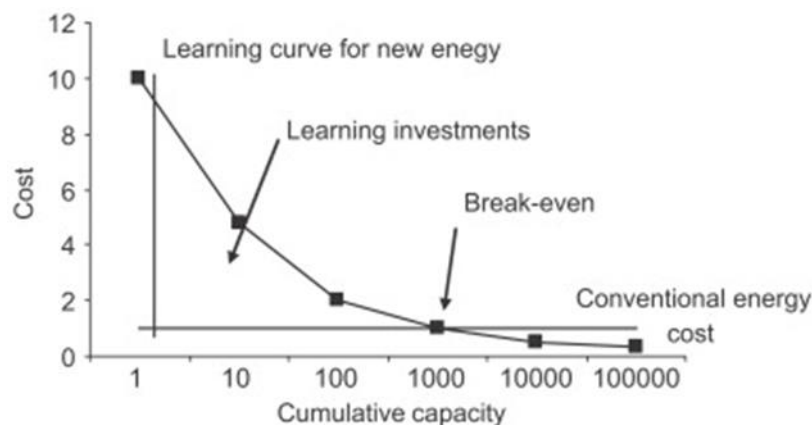


Figura 7 - Os efeitos da curva de aprendizagem na redução de custos de uma tecnologia de energia;  
Fonte: Kahouli-Brahmi (2008)

Como refere Kahouli-Brahmi (2008), à medida que uma tecnologia de energia se desenvolve, serão necessários investimentos de aprendizagem (*learning investments*), que correspondem a investimentos com retorno negativo para os investidores, mas que se revelam imprescindíveis de modo a tornar a tecnologia competitiva, até a um ponto em que a obtenção de lucros será possível. Será nesta fase, que os esforços de desenvolvimento através de despesas de I&D são mais necessários.

Por outro lado, o conceito de *learning by researching* tem sido igualmente aplicado, enquanto fator explicativo da curva de aprendizagem para análise da energia solar PV.

A sua conceção original foi introduzida por Cohen e Levinthal (1989) que identificaram as despesas de investigação e desenvolvimento por parte das empresas enquanto fator difusor da inovação, permitindo igualmente uma redução de custos.

Kobos *et al.*, (2006), num estudo realizado para os EUA, entre 1975 e 2000, mencionam uma taxa de aprendizagem referente ao *learning by researching* na ordem dos 14,3%. Ou seja, sempre que ocorreu uma duplicação do montante despendido em I&D, verificou-se uma redução do custo do capital (variável em estudo) do solar PV em 14,3%.

Miketa e Schrattenholzer (2004), num estudo de âmbito global entre 1971 e 1997, e com a particularidade de incidir sobre os custos de investimento do solar PV, ao contrário de analisar em exclusivo o preço dos módulos solares, referem uma taxa de aprendizagem de I&D de 10%.

Os custos de uma dada tecnologia são compostos por muitos fatores (custo de materiais, custos de trabalho, custos da tecnologia), e nem todos expostos ao efeito conhecido como curva da aprendizagem.

Candelise *et al.*, (2013) concluem, que além das melhorias técnicas e dos efeitos da curva de aprendizagem, outros fatores, como a reorganização industrial, as práticas de comércio industrial e as dinâmicas nos mercados internacionais explicam a redução de custos verificada. No caso de disrupções tecnológicas, ou de alterações estruturais de mercado, a análise de redução de custos através do conceito da curva de aprendizagem não é a mais indicada.

Além dos efeitos destacados da curva de aprendizagem e das economias de escala na redução dos preços, deve-se assinalar outros aspetos importantes na redução de custos. Pillai (2015) sublinha a redução do preço do silício nos mercados internacionais, o aumento do investimento no segmento industrial do mercado e o papel que os produtores chineses de módulos e células solares desempenharam no desenvolvimento da tecnologia e na criação de um mercado mundial.

Segundo de la Tour *et al.*, (2011) os produtores chineses especializaram-se no segmento *upstream*, mais especificamente na produção de células solares e na montagem dos módulos. Este segmento, segundo Grau *et al.*, (2012) caracteriza-se pelo facto de ser um

mercado pouco concentrado, sobretudo devido às menores necessidades de investimento e de conhecimento técnico. Trata-se sobretudo de um segmento com elevadas necessidades de mão de obra, em que a incorporação de tecnologia é relativamente simples. Segundo Zhang e Gallagher (2016), a vantagem comparativa da China reside precisamente em setores com tais características. Os autores determinam ainda as principais razões para o sucesso do país no mercado de produção de módulos e células solares. Em primeiro lugar, o comércio internacional foi um fator decisivo, pois permitiu ao país a aquisição de equipamentos de produção. Por outro lado, o recrutamento por parte das empresas chinesas de trabalhadores qualificados, com experiência em empresas internacionais do setor, revelou-se uma medida igualmente importante na transferência de conhecimento técnico. Por último, assinala-se a captação de investimento direto estrangeiro por parte do país. A China atrai cerca de 1/3 do IDE mundial no setor do solar PV, no entanto como a maioria das principais empresas produtoras são chinesas, sem ligação a empresas estrangeiras, a relevância do IDE no caso chinês, prende-se com o estabelecimento de parcerias enquanto canal importante para a difusão da tecnologia.

Quanto ao futuro, o grande desafio da energia solar fotovoltaico será a continuação da redução de custos, de modo a permitir novos investimentos e assim garantir que o solar PV possa competir com outras fontes de energia. De acordo com Breyer e Gerlach (2013), nos próximos anos, o aumento expectável da capacidade instalada global de energia fotovoltaica, e o aumento dos preços de eletricidade permitirá a difusão global da tecnologia e a criação de mercados sustentáveis. Os autores preveem a continuação de redução de custos a nível global, até a um ponto, em que a produção de eletricidade a partir do solar PV seja realizada a um custo inferior ao preço de compra na rede elétrica.



### **3. Revisão da Literatura**

Durante este capítulo, examina-se o papel decisivo desempenhado pelas políticas regulatórias no crescimento e desenvolvimento das energias renováveis, analisando o caso particular do solar fotovoltaico. Através da análise da literatura existente, reflete-se acerca dos efeitos da implementação de tais instrumentos no desenvolvimento das *RES*, e apontando para o caso particular do solar PV.

#### **3.1. A justificação para a intervenção regulatória nas energias renováveis**

A promoção das energias renováveis por parte das autoridades políticas teve a sua origem na década de 70, após a primeira crise do petróleo. Nesta fase, os incentivos dirigidos às energias renováveis assumiram a forma de despesas de investigação e desenvolvimento, e tiveram como principal intuito o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, “eco eficientes” e concorrentes das energias fósseis, em especial do petróleo. (Jacobsson e Johnsson, 2000)

Atualmente, as políticas de fomento às energias renováveis enquadram-se essencialmente em duas vertentes. Primeiro, enquanto política de combate às alterações climáticas. O objetivo de redução dos níveis de CO<sub>2</sub> aliado a uma maior consciência dos perigos da energia nuclear levaram os países a apoiar estas tecnologias. Segundo, o objetivo de redução de dependência dos combustíveis fósseis mantém-se, sobretudo no caso de países importadores líquidos de energia.

Segundo Avril *et al.*, (2012), o principal objetivo de uma política de fomento das RES visa incentivar os consumidores a adotar tecnologias que são benéficas, de um modo geral, para a sociedade, isto apesar da possibilidade, de apresentarem custos superiores quando comparados com as tecnologias convencionais de energia.

A intervenção pública no setor das energias renováveis, pode ser igualmente justificada, como uma forma de resolver as diversas falhas de mercado existentes. Segundo Jaffe *et al.*, (2005) e Dinica (2006) o facto dos custos relativos ao impacto ambiental provocado

pela geração de eletricidade de energias convencionais não estar internalizado, revela-se a principal causa de diferença de preços face às energias renováveis.

Jaffe *et al.*, (2005) sublinham as externalidades associadas à inovação e difusão de novas tecnologias que suportam a necessidade de implementação de instrumentos regulatórios.

Por outro lado, Edenhofer *et al.*, (2013) apontam para as falhas de mercado próprias do setor elétrico. A homogeneização da eletricidade, retira a possibilidade de criação de mercados de nicho. Além deste fator, os autores destacam o risco adicional que as energias renováveis apresentam face a tecnologias com um nível de maturidade superior, justificando a introdução de políticas regulatórias. Cadoret e Padovano (2016) explicitam os motivos que levam os governos a promover as energias renováveis. A pressão dos lobbies, tanto a favor como contra (por parte de grupos ambientalistas, indústria petrolífera, nuclear) e o impacto positivo esperado junto dos eleitores levam os decisores políticos a legislar sobre o setor.

A necessidade de intervenção governamental, deve-se assim e em primeiro lugar ao facto de as energias renováveis serem atualmente uma das opções mais caras de investimento face às energias de fonte fóssil. (Marques *et al.*, 2010).

No entanto, os apoios regulatórios serão apenas necessários até a uma determinada fase, reveladora da maturidade de cada tecnologia, sendo que a retirada dos apoios estatais deverá realizada de um modo progressivo, até que produção de eletricidade possa ser realizada em condições livres de mercado. (Wiesenthal *et al.*, 2012)

### **3.2. O efeito da regulação no desenvolvimento das RES e do Solar PV**

De acordo com a literatura, podemos considerar a regulação como o principal “driver” das energias renováveis. A regulação pode ser encarada como um instrumento político utilizado pelas autoridades com o intuito de alcançar um determinado efeito na sociedade. Esta definição revela-se especialmente útil para o setor energético, pois trata-se, segundo Christensen e Hain (2017), de um setor económico enquadrado numa lógica

de metas políticas, e como tal, sujeito a fortes medidas regulatórias. A especificidade do setor traduz-se num grande envolvimento das autoridades governamentais.

Na abordagem de um investidor, como afirmam Christensen e Hain (2017), a análise tradicional «risco-retorno» está condicionada a riscos políticos, sendo que o retorno de um investimento depende principalmente do enquadramento regulatório. Como esclarece Popp *et al.* (2011), apesar da utilização das energias renováveis acarretar inúmeros benefícios, como a redução dos gases de efeito estufa, ou a melhoria da segurança energética, esses benefícios são em larga medida externos ao investidor individual, e por isso pouco preponderantes nas decisões de investimento. A nível ambiental, a não ser que haja uma política encorajadora de redução de CO<sub>2</sub>, ou através de um imposto sobre o carbono ou procedendo à subsidiarização das fontes limpas de energia, não ocorrerá qualquer incentivo para um investidor adotar uma tecnologia de energia mais cara, mas menos poluidora.

Deste modo, restam principalmente duas soluções às autoridades governativas.

Primeiro, a forma mais comum, corresponde à introdução de incentivos direto das energias renováveis, através de instrumentos políticos como a tarifa *feed-in*, ou através de subsídios. A segunda forma, visa tornar os combustíveis fósseis mais caros, através da implementação de impostos, como por exemplo, a criação de um imposto por tonelada de dióxido de carbono (Timilsina *et al.*, 2012)

Os objetivos da política energética podem, no entanto, divergir de país para país. Arrow *et al.* (1995) denotam diferenças entre os países ricos e pobres. Enquanto que os países pobres tendem a sacrificar o meio ambiente em deterioramento do desenvolvimento económico, nos países ricos subsistem incentivos para proceder de modo inverso.

Um dos requisitos fundamentais para assegurar a eficácia das políticas regulatórias prende-se com a necessidade de garantir que as políticas são estáveis e consistentes com os objetivos propostos. Van Rooijen e van Wees (2006) notam, que na Holanda, a incerteza provocada pela descontinuidade das políticas promotoras das energias renováveis na década de 90, revelou-se a principal causa do seu fraco desenvolvimento. Segundo Gan *et al.*, (2007), a estabilidade das políticas adotadas revela-se um fator mais importante do que propriamente os incentivos financeiros de curto prazo.

As consequências de uma retirada imediata dos esquemas de regulação foram sobretudo visíveis nos países europeus, e nos anos de crise financeira. Em resultado de tais práticas, ocorreu uma diminuição de novas instalações de energia renovável. (Yu *et al.*, 2016).

Por um lado, a necessidade de estabilidade das políticas não significa que as autoridades devam desempenhar um papel fortemente ativo na regulação das energias verdes.

Sisodia *et al.* (2016) demonstram, num estudo de análise do investimento em energia solar fotovoltaica para um conjunto de países que uma perceção de forte regulação não acarreta necessariamente um maior investimento em energias renováveis.

Karneyeva e Wüstenhagen (2017) analisa o papel das políticas de suporte à energia solar num contexto em que a geração de eletricidade é realizada a um preço inferior ao preço de eletricidade no mercado. Em tais países, e ao contrário daquilo que se esperava, a redução dos instrumentos de incentivo traduziu-se numa redução do investimento. Seria de prever, que com o alcance da paridade de rede<sup>8</sup>, os apoios regulatórios deixariam de ser necessários, pois estariam criadas as condições necessárias para um mercado autossustentável. Os autores concluem que a retirada dos apoios políticos traduziu-se num aumento do risco para os investidores.

Um dos principais instrumentos utilizados na promoção das energias renováveis e da energia solar PV em particular corresponde à utilização das tarifas *feed-in*. As tarifas *feed-in* têm como finalidade incentivar e acelerar o investimento nas energias renováveis, correspondendo ao principal instrumento de regulação aplicado às energias renováveis, utilizado em mais de cem países no ano de 2016. (REN21, 2017)

O valor da tarifa *feed-in* representa o preço total recebido por um produtor independente incluindo um prémio adicional ao preço de mercado, mas excluindo deduções fiscais ou outros subsídios pagos pelo governo. A principal vantagem deste esquema relaciona-se com a segurança que oferece aos investidores. Ao oferecer contratos de longa duração, normalmente durante o tempo de vida útil do projeto, e ao basear a tarifa nos custos necessários para desenvolver um projeto de energias renováveis, permite a redução do

---

<sup>8</sup> «grid-parity» ou paridade de rede traduz uma medida de competitividade de um sistema de energia e ocorre quando o custo de produção (LCOE) é inferior ou igual ao preço de compra de eletricidade em condições de mercado

risco do investimento. (Campoccia *et al.*, 2009). Como consideram Couture e Gagnon (2010) este tipo de instrumento revela-se extramente vantajoso no caso de projetos altamente intensivos em capital, com altos custos iniciais e uma proporção elevada de custos fixos, como é o caso das energias renováveis e do solar fotovoltaico em concreto. Os autores defendem que o grau de desenvolvimento das energias renováveis é influenciado principalmente pela estrutura da tarifa *feed-in* e pelo o seu impacto no risco de um investidor.

Em geral, os países que adotaram este mecanismo desde a primeira fase, aumentaram significativamente a capacidade instalada e a produção de energia renovável. Jenner *et al.*, (2013) num estudo entre 1992 e 2008, demonstram que a evolução da energia solar PV na Europa deveu-se principalmente à implementação da tarifa *feed-in*, em articulação com outros fatores, como o preço da eletricidade, e o custo total do sistema.

Outra das vantagens deste instrumento, de acordo com Ciarreta *et al.*, (2014), prende-se com o facto de as tarifas *feed-in* representarem um modo efetivo para remoção das barreiras ao investimento, e um importante contributo para a inovação tecnológica. Os baixos custos administrativos de implementação permitem reduzir as barreiras regulatórias, de entrada para novos investidores.

Portanto, segundo os autores, estabelecer uma tarifa apropriada é considerada uma das tarefas mais importantes das autoridades públicas. Como afirma Ciarreta *et al.*, (2014) se o preço de remuneração for bastante elevado, então os produtores de fontes renováveis terão lucros excessivos, em prejuízo dos restantes consumidores. Se por outro lado, a tarifa escolhida for demasiado baixa, então, o impacto no investimento será muito reduzido. Por esse motivo, Pyrgou *et al.*, (2016) consideram que, ao estabelecer um enquadramento regulatório para a aplicação da FiT, parâmetros como o risco e retorno dos investimentos, constrangimentos financeiros, a infraestrutura elétrica, e a existência de falhas de mercado deverão ser considerados. Avril *et al.*, (2012) denotam, que no caso do PV, para que surja o aumento da capacidade instalada desejada pelas entidades reguladoras, será necessário a implementação de uma política adequada, com um bom controlo e distribuição de despesas, de modo a controlar o seu impacto nos preços de eletricidade e não criar distorções no mercado.

Couture e Gagnon (2010) apontam três requisitos essenciais para o sucesso da implementação de uma tarifa *feed-in*. O acesso garantido à rede elétrica, o estabelecimento de contratos estáveis e de longa duração, e que a tarifa deve ser calculada e baseada no custo unitário de produção.

Os proponentes da tarifa *feed-in*, de acordo com Karneyeva e Wüstenhagen (2017), apresentam basicamente três argumentos a seu favor: o seu baixo custo, na medida em que só existe financiamento quando ocorre um aumento das instalações, a eficiência, e o facto do custo externo das energias convencionais estar ainda pouco internalizado.

Contudo, alguns autores apontam aspetos negativos à implementação das tarifas *feed-in*. Frondel *et al.*, (2010) analisa o caso particular da Alemanha, em que a implementação das tarifas *feed-in*, causou um aumento da despesa ao governo alemão e um aumento dos preços de eletricidade para os consumidores, sem nenhum efeito positivo na redução das emissões, emprego, segurança energética e inovação tecnológica. Os autores consideram ainda, que os esquemas regulatórios introduzidos desvirtuaram a concorrência de mercado, e prejudicaram a inovação na indústria.

Calzada *et al.*, (2010) e Pyrgou *et al.*, (2016) apontam que este esquema regulatório foi responsável pelo colapso do mercado PV espanhol. Os autores afirmam que em Espanha, a adoção das tarifas *feed-in* traduziu-se num esquema artificial de subsídio e encorajou grandes ineficiências, aumentando significativamente os custos de investimento. Em 2008, o preço médio de venda de eletricidade proveniente do solar fotovoltaica era sete vezes mais caro que a média geral. As tarifas *feed-in*, de acordo com Gross *et al.*, (2010) protegem completamente os investidores do risco do rendimento, criando assim distorções no mercado, e eliminado o incentivo a investir em áreas que não sejam abrangidas por esta regulação. Já Avril *et al.*, (2012) indicam que a principal limitação das tarifas *feed-in* prende-se com o facto de não impor nenhuma alteração de custos nas tecnologias poluidoras, não desencorajando a sua utilização.

Outro dos principais instrumentos regulatórios corresponde à utilização dos subsídios energéticos. Revelam-se de fácil aplicação por parte das autoridades públicas, pois, geralmente o nível de subsídio atribuído é fixado como percentagem do custo total do investimento realizado, com máximos legais previamente fixados.

Segundo Cansino *et al.*, (2010), a concessão de subsídios é especialmente adequada às energias renováveis e em particular ao solar fotovoltaico, pois encoraja a adoção de tecnologias capital intensivas, através da redução direta dos custos de investimento. Sarzynski *et al.*, (2012), num estudo sobre o impacto da utilização de diferentes esquemas de incentivo nos EUA, entre 1997 e 2007, chegam a conclusões semelhantes. Ou seja, os estados que oferecem incentivos diretos evidenciaram um desenvolvimento superior do solar fotovoltaico face aos estados que implementaram outro tipo de instrumentos, como incentivos fiscais. A introdução de subsídios diretos enquanto política de incentivo às RES, pode revelar-se como um rápido acelerador da tecnologia, ao permitir uma redução acentuada de custos. Farmer and Trancik, 2007 *apud* Edenhofer *et al.*, (2013) indicam que os subsídios apresentam a desvantagem de estarem diretamente ligados a recursos orçamentais e obedecerem por isso a constrangimentos de curto prazo. Relativamente ao solar fotovoltaico, os subsídios são aplicados maioritariamente em países não europeus.

Apesar da predominância da utilização de instrumentos regulatórios como a tarifa *feed-in* ou de subsídios energéticos, existem outros instrumentos como os certificados verdes ou incentivos fiscais, para a promoção das energias renováveis. Relativamente aos certificados verdes, a eletricidade produzida a partir de fontes renováveis é transacionada em condições livres de mercado, contudo, os produtores de energia recebem certificados que representa o montante de energia produzido, sendo que estes certificados poderão ser transacionados num mercado próprio. Poullikkas (2013) afirma que os certificados verdes podem ser considerados um bom instrumento para a promoção da energia solar, e defende a utilização de um esquema híbrido de aplicação das tarifas *feed-in* com certificados verdes.

Sobre os incentivos fiscais, estes podem assumir a forma de deduções ou créditos fiscais. Na União Europeia, por exemplo, 12 países utilizam esta modalidade para encorajar a utilização de energia solar fotovoltaica. A vantagem dos créditos fiscais assenta, segundo Abolhosseini e Heshmati (2014), no facto de aumentar a liquidez dos investidores, e pode ser vista como uma oportunidade para pequenos investimentos.

No entanto o seu uso, parece menos eficaz face aos subsídios. Primeiro, porque como considera Pablo-Romero *et al.*, (2013) quando num estudo para a energia solar termal, as deduções fiscais implicam a necessidade de realizar um investimento prévio, e sobretudo porque não tem expressão suficiente para uma maior disseminação.

Não é apenas através da subsidiarização da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis que as autoridades fomentam o desenvolvimento deste tipo de tecnologias. Existem ainda outro tipo de iniciativas governamentais, como por exemplo, a canalização de despesas em investigação e desenvolvimento para o setor energético que contribuíram decisivamente para o crescimento e difusão das energias renováveis. Como concluem Johnstone *et al.*, (2010), os programas iniciais de I&D para a promoção das energias renováveis provocaram um aumento da criação de patentes, e correspondem a um fator indutor do progresso e da difusão da tecnologia. Kahouli-Brahmi (2008) refere que I&D permite que os custos diminuam, à medida que o stock de conhecimento aumenta.

A adoção de programas de I&D corresponde maioritariamente a iniciativas fomentadas por parte de entidades públicas. O emprego de tais iniciativas envolve riscos financeiros que muitas entidades privadas não estão dispostas a suportar. O apoio ao I&D acarreta ainda incertezas quanto aos seus resultados, apresentando um risco de investimento ficar aquém do pretendido. (Gallié, 2011 *apud* Avril *et al.*, 2012). No setor energético, os programas de I&D têm sido reduzidos ao longo do tempo. Gan *et al.*, (2007) argumentam que os países reduziram a ênfase no I&D pois não viram resultados adequados face às despesas incorridas.

O investimento por parte das autoridades públicas neste tipo de iniciativas pode, segundo Frondel *et al.*, (2010) compensar o subinvestimento do setor privado e gerar externalidades positivas, considerando que deverá ser o principal instrumento de política utilizado caso de tecnologias inovadoras, e tecnologicamente pouco eficiente, como por exemplo a energia solar. Segundo Wiesenthal *et al.*, (2012), indicam que a redução de custos associada a investimentos em energias renováveis, induzidos por despesas em I&D, vão permitir no longo prazo reduzir as políticas de apoio. O principal desafio das autoridades públicas, prende-se muitas vezes em determinar a quantidade de investimento em I&D necessário para fomentar o crescimento das energias verdes.



Kim *et al.*, (2014) e Sharma *et al.*, (2012) apontam para os efeitos positivos da I&D no crescimento das energias de fonte renovável nos seus países. Kim *et al.* (2014) salienta que no caso da Coreia do Sul, o crescimento das energias de fonte renovável revelou-se diretamente proporcional ao investimento em I&D, sendo que, a maioria das despesas de I&D devem ser aplicadas na fase inicial da tecnologia. Já Sharma *et al.*, (2012) esclarece que, no caso da Índia, a aposta do país em tornar-se um líder mundial em energia solar, tem tido como suporte, a direção de despesas de I&D. Este instrumento permitiu a criação de uma indústria no país, e de oportunidades de emprego.

## **4. Metodologia e resultados empíricos**

No âmbito da presente dissertação, e neste capítulo, procede-se a uma análise quantitativa dos determinantes do investimento mundial em energia solar fotovoltaica.

O objetivo é apresentar uma explicação detalhada das variáveis incluídas no modelo, sempre com o intuito de averiguar quais os fatores que mais influenciaram o investimento mundial nesta tecnologia. Deste modo, será especificado um modelo econométrico, com o intuito de estimar a importância de fatores económicos, sociais e ambientais na variável em estudo. Posteriormente, será efetuada a apresentação dos resultados e um breve resumo das principais conclusões.

### **4.1. Justificação da amostra**

Para a seleção da amostra, a opção correspondeu em selecionar um conjunto alargado de países, que pudessem representar, de modo fidedigno, o investimento mundial em energia solar fotovoltaica no ano de 2015. Desta forma foram selecionados 52 países, com a seguinte representação por continente:

Europa: Portugal, Espanha, França, Alemanha, Áustria, Bélgica, Holanda, Suíça, Itália, Eslovénia, Eslováquia, Montenegro, Sérvia, Roménia, Bulgária, Noruega, Suécia, Finlândia, Dinamarca, Polónia, Lituânia, Letónia, Luxemburgo, Estónia, República Checa, Croácia; Bósnia Herzegovina; Chipre, Malta; Hungria, Irlanda, Reino Unido, Turquia e Grécia;

América do Sul: Argentina, Brasil, Chile e Uruguai;

Ásia: China, Índia, Israel, Japão e Coreia do Sul;

África: África do Sul, Argélia, Egipto e Marrocos.

América do Norte e América Central: Estados Unidos da América, México e Canadá

Oceânia: Austrália e Nova Zelândia

Relativamente aos países europeus, deve-se assinalar que todos os países da União Europeia estão representados. Como já referimos, o continente europeu foi pioneiro no desenvolvimento do solar PV sendo que, por esse motivo, a informação disponível, sobretudo dos países da União Europeia é maior, e daí a inserção de um maior número de países europeus na amostra.

Quanto aos países africanos, procedemos à seleção, atendendo fundamentalmente a dois critérios. Primeiro, a proximidade geográfica e comercial dos países do norte de África com a Europa. Como considera Griffiths (2013), os abundantes recursos solares dos países do norte de África, permitem considerar o solar fotovoltaico como uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento económico. A presença de Argélia, Marrocos e Egipto na bacia mediterrânica e a proximidade com o continente europeu permitem encarar a possibilidade de exportação de eletricidade destes países e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. O segundo critério, atende ao nível do Produto Interno Bruto (PIB) dos países africanos, e daí, procedeu-se à inclusão adicional da África do Sul na amostra.

Relativamente aos países dos restantes continentes, o critério atendido para inclusão na amostra, correspondeu ao nível económico de cada um dos países.

Quanto aos países da América do Sul, observa-se, através do indicador do Banco Mundial referente ao PIB per capita de 2015 em paridade de poder de compra (PPC), que a Argentina, Brasil, Chile e Uruguai são os países do continente sul-americano com o valor mais alto, e daí a representação destes países na amostra.

No caso dos países do continente asiático, além de atender-se ao nível económico dos países em causa, considera-se igualmente o desenvolvimento do mercado solar PV através da observação da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica em 2014. (IRENA, 2015). Deste modo, excluíram-se países que apesar do nível do PIB comparativamente elevado, apresentam um mercado solar PV praticamente inexistente, como é exemplo o caso dos países do Médio Oriente.

Em referência aos países da América do Norte, América Central e Oceania, foram incluídos, devido à sua dimensão geográfica e nível de desenvolvimento económico, os principais países destes continentes.

Os países da amostra representaram cerca de 98%<sup>9</sup> da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica em 2015. Deve-se ressaltar, no entanto, que existiram situações de países em que não se verificou qualquer aumento da capacidade instalada em 2015, como é o caso da Argentina, Finlândia, Irlanda, Montenegro, Sérvia e Eslováquia.

#### **4.2. Modelo e descrição das variáveis utilizadas**

A análise efetuada cinge-se exclusivamente ao ano de 2015. Por estarmos na presença de uma tecnologia com um estatuto ainda marginal no panorama energético mundial, e considerando que o seu desenvolvimento e comercialização ocorreu sobretudo na última década, a informação disponível, e específica ao solar PV é ainda escassa, o que impossibilitou de realizar um estudo numa perspetiva plurianual.

A principal limitação do modelo, que nos impede de realizar uma abordagem plurianual, decorre da utilização da variável *Levelized Cost of Energy* (LCOE) enquanto indicador de mensuração dos custos de um sistema solar fotovoltaico. Os dados do LCOE têm sido publicados com uma periodicidade de 5 anos, desde 2005, pela Agência Internacional de Energia para um conjunto restrito de países. O grande desfasamento temporal na publicação dos dados não permite realizar uma comparação fidedigna dos custos, uma vez que, graças à evolução da tecnologia, existem grandes discrepâncias nos valores analisados. As alterações ao nível dos custos, no caso do solar fotovoltaico, têm sido anuais, e de grande significado. Apesar disso, não existem dados publicados numa escala global para um período alargado de tempo.

Os dados obtidos permitiram construir um painel com 572 observações, referente a onze variáveis independentes e uma variável dependente. As variáveis utilizadas são então as seguintes:

##### *i. Variável dependente*

---

<sup>9</sup> Cálculo próprio, efetuado a partir dos dados obtidos no relatório *Renewable Energy Statistics 2017*, IRENA (2017a)

Investimento em Solar PV em 2015

= *Capacidade Instalada de Solar PV em 2015*

– *Capacidade Instalada de Solar PV em 2014*

ii. *Variáveis independentes/explicativas*

- *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) em dólares americanos para 2015;
- Produto Interno Bruto (PIB) de 2015, a preços de 2015 e em dólares americanos;
- Indicador de estabilidade política e ausência de violência/terrorismo para o ano de 2015;
- Indicador de qualidade regulatória referente ao ano de 2015;
- Emissões de CO2 (em quilotoneladas) para 2015;
- Consumo de eletricidade (em Kw/hora);
- O peso da importação de energia no consumo final energético (variável *dummy*);
- O peso em % do PIB das despesas em Investigação e Desenvolvimento;
- Produção de eletricidade a partir de energia nuclear (variável *dummy*);
- Capacidade instalada total de energia hídrica (em MW) em 2015;
- Capacidade instalada total de energia eólica (em MW) em 2015;

O modelo terá como variável dependente um indicador para a variação da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica ocorrida no ano de 2015. Como já referido, o objetivo deste trabalho será analisar os *drivers* do investimento nesta tecnologia. Ao contrário de outros sistemas energéticos, como a energia nuclear, a implementação de um sistema solar fotovoltaico é relativamente célere, demorando em média entre 1 e 2 anos, e depende sobretudo, da dimensão do sistema. Por esse motivo, considera-se que o incremento na capacidade instalada pode ser considerado um proxy do investimento em solar PV ocorrido no ano de 2015. Como denota Schmidt (2014), existem poucos dados

publicados sobre o investimento concreto em *RES*, segregados por países e numa base anual. Por esse motivo, procedemos à sua análise através do indicador da capacidade instalada.

Os dados foram recolhidos através das estatísticas de energias renováveis do IRENA (2017a), e correspondem à capacidade instalada total nos anos de 2014 e 2015. De modo a analisar o investimento em 2015, procedeu-se ao cálculo da diferença entre os valores de 2015 e 2014.

Devemos realçar que em 2015, ocorreu um incremento de 45 889 MW na capacidade instalada dos países que compõe a amostra, face ao ano de 2014.

Relativamente às variáveis independentes, analisaremos o comportamento do *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), enquanto indicador de avaliação dos custos de um sistema. A expectativa é de que os países que apresentam custos de produção de eletricidade mais baixos, apresentem maiores níveis de capacidade instalada. Os dados foram reunidos através do instituto de investigação alemão Fraunhofer ISE (2015), referem-se ao ano de 2015, e estão expressos em dólares americanos por MW. Os autores do estudo apresentam a adoção dos seguintes pressupostos para cálculo do LCOE: são considerados apenas sistemas de larga escala acima de 1 MW, assume-se que o tempo de vida útil de um sistema solar PV corresponde a 25 anos e que os custos dos componentes (como inversores, baterias, estruturas metálicas) são idênticos para todos os países. O grande fator diferenciador entre países, corresponde aos custos de produção de eletricidade, que por sua vez, dependem sobretudo da radiação solar. Assim, países com um maior índice de radiação solar apresentam maior produção, tornando os custos por eletricidade produzida mais baixos. Os autores tiveram em consideração o estudo de Pietzcker *et al.*, (2014) para avaliação do número de horas de produção de eletricidade, considerando as condições atmosféricas para cada país.

Quanto aos pressupostos financeiros, a taxa de câmbio empregue, de modo a proceder à uniformização dos preços, corresponde às cotações internacionais no dia 1 de Maio de 2014. Atribuiu-se igualmente um valor fixo para a taxa de desconto. A taxa de desconto, corresponde a um conceito económico utilizado na análise de investimentos que reflete as diferentes perceções de risco dos investidores. Quanto maior for o risco de um investimento, maior deverá ser a taxa de desconto atribuída. No entanto, várias

instituições internacionais como a IEA e a IRENA, tratam o custo do capital, através da escolha de uma taxa de desconto, como constante entre países e tecnologias. O estudo analisado utiliza a mesma metodologia, optando por uma taxa de desconto fixa, e correspondente a 10%.

A segunda variável que se introduziu corresponde ao Produto Interno Bruto (PIB). A abordagem na literatura do efeito do PIB nas energias renováveis é recorrente. À semelhança do estudo de Marques e Fuinhas (2011) utilizámos a variável do PIB na sua medida económica absoluta, não considerando o efeito populacional (per capita). A inclusão do PIB em termos absolutos justifica-se com a pouca expressão do solar no perfil energético mundial.

O PIB assume particular importância, pois pretende-se analisar se os países mais prósperos são aqueles que revelam um maior nível de investimento em energia solar fotovoltaica. Atendendo ao facto de esta tecnologia ser, espera-se uma acentuada divergência entre os países prósperos e os países em vias de desenvolvimento. Os valores estão presentes em dólares americanos, a preços de 2015 e os dados foram recolhidos junto do Banco Mundial, nos indicadores mundiais de desenvolvimento.

Relativamente ao indicador referente à estabilidade política e ausência de violência e o indicador da qualidade regulatória, os mesmos foram extraídos a partir dos indicadores de *Governance* do Banco Mundial para o ano de 2015, baseado no estudo de Kaufmann et al., (2010) que analisa para cada país as seguintes variáveis: *Voice and Accountability, Political Stability and Absence of Violence, Government Effectiveness, Regulatory Quality, Rule of Law e Control of Corruption*.

O indicador da *Political Stability and Absence of Violence*, mede a perceção da possibilidade de ocorrência de instabilidade política, e de violência com motivações políticas, incluindo o terrorismo. Al Khattab et al., (2007) demonstra que os riscos políticos são a principal causa de preocupação para os *stakeholders* de investimento direto estrangeiro nos países em vias de desenvolvimento. Considera-se que um sistema de energia solar fotovoltaica é concebido para um prazo normal de duração de 25 anos, e requer por isso condições de estabilidade e segurança, de modo a assegurar o suficiente retorno aos investidores. A adição desta variável no modelo justifica-se pela inclusão na amostra de países politicamente instáveis como por exemplo, o caso da

Turquia, Bósnia e Herzegovina, México e África do Sul. Utilizámos a escala de classificação do estudo, que avalia os países numa escala, entre o valor de 0, que corresponde ao valor mínimo e 100, o valor máximo.

No que concerne ao indicador *Regulatory Quality*, de acordo com os autores, reflete a percepção da habilidade do governo em formular e implementar políticas e regulações que possam fomentar o desenvolvimento do setor privado. O objetivo da inclusão desta variável será estabelecer uma relação entre a existência de um bom quadro regulatório e o desenvolvimento do solar fotovoltaico. Os países estão classificados por ranking, entre o valor mínimo, 0 e o valor máximo de 100. Deve-se ressaltar, no entanto, que este indicador corresponde às percepções de regulação da economia em geral, e não reflete a regulação efetiva do mercado de eletricidade em específico.

Quanto ao indicador das emissões de CO<sub>2</sub>, os dados utilizados provêm de um estudo de Comissão Europeia (2016) realizado em parceria pela Agência Holandesa do Ambiente e a Comissão Europeia, que avalia as emissões de CO<sub>2</sub> em 2015 por país, originárias da queima de combustíveis fósseis e outros processos industriais como a produção de cimento.

Salienta-se, que no caso dos países da Sérvia e de Montenegro, foram utilizados dados do Banco Mundial referente ao ano de 2013, em virtude deste relatório congregar os dados dos dois países. Espera-se que as emissões de CO<sub>2</sub> exerçam uma influência positiva no desenvolvimento do solar PV. À semelhança de outros estudos, Aguirre e Ibikunle (2014), num estudo de 38 países, comprovam a influência positiva das emissões de CO<sub>2</sub> na contribuição das energias renováveis na procura de energia.

Relativamente ao indicador do consumo de eletricidade, o mesmo está expresso em Kwh, e foi obtido a partir da consulta de dados da CIA<sup>10</sup>. O consumo de eletricidade de um país é obtido através da adição da eletricidade produzida com a diferença entre as importações e as exportações. Como afirmam Marques *et al.*, (2010) o consumo de energia poderá traduzir-se numa pressão adicional para o investimento em fontes de abastecimento energético. À medida que um país se desenvolve, as suas necessidades energéticas aumentam. No entanto, considerando que a finalidade do solar PV destina-

---

<sup>10</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2233rank.html>



se em exclusivo à produção de eletricidade, considera-se no modelo, a inserção de uma variável referente ao consumo de eletricidade. Interessa-nos averiguar se um consumo de eletricidade mais elevado acarreta um maior nível de investimento em energia solar fotovoltaica. Os dados analisados referem-se ao período entre 2014 e 2016, sendo que utilizámos no modelo o último ano disponível.

O indicador do peso da importação de energia no consumo final, tem como objetivo averiguar o grau de dependência energética. A energia solar fotovoltaica permite aos países tornarem-se mais independentes a nível energéticos, e permite uma maior diversificação das fontes de energia, o que poderá traduzir-se num incentivo para o aumento da capacidade instalada de solar fotovoltaico. Esta variável corresponde a uma variável *dummy*. Ou seja, se um país apresentar um peso das importações energéticas superior a 50%, considera-se que estamos na presença de um país mais dependente face ao exterior (sendo que a variável assume o valor de 1). Por outro lado, se um país apresentar um peso das importações energéticas inferior a 50% do seu consumo final de energia, assume-se o valor de 0 para cada observação. Os dados foram recolhidos junto do Banco Mundial, e referem-se ao ano de 2014, pelo que utilizaremos como pressuposto estas observações para o ano de 2015.

Acerca do indicador referente ao peso em percentagem do PIB das despesas em investigação e desenvolvimento (I&D), procedeu-se à recolha dos dados no Instituto de Estatística da Unesco. Os dados referem-se maioritariamente aos anos de 2015 e 2014, sendo que foi utilizado como critério a escolha do último ano de informação disponível. Como limitação do estudo, sublinhe-se que o indicador empregue no modelo diz respeito às despesas em I&D, de um modo geral, não especificando qualquer setor ou indústria. A propósito do estudo em questão, seria mais vantajoso a utilização de um indicador específico para o setor energético. No entanto, por falta de dados para alguns países, não foi possível a inclusão de tal variável.

Tendo em consideração que as despesas de I&D foram um dos primeiros instrumentos utilizados na promoção de energias renováveis, acredita-se, face à literatura existente e à semelhança do estudo efetuado por Aguirre e Ibikunle (2014), numa relação positiva entre o investimento anual em solar fotovoltaico e as despesas de I&D.

Relativamente à variável relativa à existência de energia nuclear para produção de eletricidade, procedeu-se à recolha de informação através de um indicador do Banco Mundial que mede a percentagem de produção de eletricidade oriunda de energia nuclear. Os dados referem-se aos anos de 2014 e 2015, sendo que, no caso dos países sem informação disponível para o ano de 2015, os dados referentes ao ano de 2014 foram empregues na estimação do modelo. Assume-se esta variável como *dummy*, isto é, atribui-se o valor de 1 para os países que apresentam produção de eletricidade a partir de energia nuclear no seu território, e o valor de zero, para os países que não o fazem. Pretendemos analisar se o investimento em solar fotovoltaico é afetado pela existência de energia nuclear. Ambas as fontes de energia são apresentadas na literatura como possíveis concorrentes, em termos de investimento e capacidade energética (Karaveli et al., (2015), e também em termos ambientais, visto que apresentam a característica comum de a sua operação não emitir dióxido de carbono para a atmosfera. (Zelenika-Zovko e Pearce, 2011) O intuito da adição desta variável será analisar a possível existência de uma relação de substituíbilidade no investimento em solar fotovoltaico no ano de 2015.

Quanto à variável de capacidade instalada de energia hídrica, obtivemos os dados, através da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), sobre a capacidade instalada total de energia hídrica referente a todos os países da amostra, com os dados expressos em Mw, e referentes ao ano de 2015. Tem-se como objetivo averiguar a existência de uma relação entre o investimento anual de solar fotovoltaico e o grau de desenvolvimento de outras fontes de energia renováveis, como a energia hídrica e a energia eólica.

Por fim, relativamente ao indicador da capacidade instalada de energia eólica, o método de recolha e análise de dados foi inteiramente idêntico ao mencionado no parágrafo anterior. Os dados estão expressos em Mw e referem-se igualmente a 2015.

Para construção e estimação do modelo econométrico, recorre-se ao programa informático *EViews 9*. O modelo requer a utilização de dados em painel, em virtude da presença de vários países na amostra. Os coeficientes foram estimados segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS)

Realizou-se a estimação do modelo, através do seguinte modo:

$$\text{SOLAR} = f(\beta_0 + \beta_1 * \text{CO}_2 + \beta_2 * \text{CONS} + \beta_3 * \text{EOLICA} + \beta_4 * \text{HIDRO} + \beta_5 * \text{ID} + \beta_6 * \text{IMPORT} + \beta_7 * \text{LCOE} + \beta_8 * \text{NUCLEAR} + \beta_9 * \text{PIB} + \beta_{10} * \text{POLIT} + \beta_{11} * \text{REGUL} + \mu_i)$$

(i)  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{11}$  são os parâmetros desconhecidos;

(ii)  $\mu_i$  é uma perturbação aleatória.

No tópico seguinte, serão apresentados os resultados, e as principais conclusões daí retiradas.

### 4.3. Análise de resultados

Apresenta-se agora, no Quadro 1, uma síntese dos resultados obtidos.

Quadro 1 - Resultados de estimação do modelo econométrico

Variável dependente: SOLAR

Variável	Coefficiente	p-value
Constante	-1309,745	0,146
CO2	0,040	0,001 ***
CONS	0,000	0,035 **
EOLICA	-0,120	0,002 ***
HIDRO	0,024	0,056 *
ID	193,681	0,379
IMPORT	-549,591	0,149
LCOE	8,099	0,244
NUCLEAR	81,459	0,829
PIB	0,000	0,005 ***
POLIT	-4,564	0,553
REGUL	4,778	0,696
R <sup>2</sup>	0,856	
R <sup>2</sup> ajustado	0,817	
Prob(F-stat)	0,000	

Nota: valor estatisticamente significativo a 1% (\*\*\*), 5% (\*\*) e 10% (\*)

Pode-se afirmar que o modelo é globalmente significativo, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 85,61%. O coeficiente de determinação, indica que as variáveis dependentes escolhidas conseguem explicar cerca de 85,61% da capacidade instalada durante o ano de 2015.

Quanto aos testes de significância individual, as emissões de dióxido de carbono (CO2), o consumo de eletricidade (CONS), a capacidade instalada de energia eólica (EOLICA), a capacidade instalada de energia hídrica (HIDRO), e o Produto Interno Bruto (PIB) são

variáveis estatisticamente significativas, que revelam influência no incremento de capacidade instalada em solar fotovoltaico.

Relativamente a estas variáveis, pode-se ainda proferir os seguintes comentários adicionais.

Quanto às emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) confirma-se a existência de uma relação positiva, fortemente significativa, entre o nível de emissões de dióxido de carbono e o investimento em solar fotovoltaico no ano 2015. O nível de emissões de CO<sub>2</sub> contribuiu positivamente para um maior investimento mundial em solar fotovoltaico. Os resultados parecem comprovar que os países com as emissões mais altas tendem a investir mais em energia solar fotovoltaica. Aguirre e Ibikunle (2014), num estudo entre 1990 e 2010, e para uma amostra global de países, demonstraram a relação positiva das emissões de CO<sub>2</sub> com o contributo das energias renováveis no «mix» energético mundial. Sadorsky (2009) comprova, que no longo prazo, um incremento nas emissões de CO<sub>2</sub> per capita corresponde a um factor preponderante no aumento do consumo per capita de energia renovável. Popp *et al.* (2011) sublinham a importância da política climática para o investimento em energias renováveis, estabelecendo uma relação entre o aumento da capacidade instalada e a assinatura do protocolo de Quioto nos países signatários. Sisodia *et al.*, (2016), num estudo sobre os países da União Europeia, chegam a conclusões distintas, afirmando uma relação negativa entre o investimento em solar PV e as emissões de CO<sub>2</sub>. Este trabalho confirma uma relação significativa e positiva entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o investimento em solar PV.

Quanto ao consumo de eletricidade (CONS) afirma-se que o consumo total de eletricidade exerceu uma influência positiva durante o ano de 2015 na decisão de instalar energia solar fotovoltaica. Marques *et al.*, (2010), estabelecem uma relação entre o consumo de energia *per capita* com o desenvolvimento das energias renováveis, identificando uma relação próxima entre o consumo de eletricidade e o investimento em PV. Aguirre e Ibikunle (2014) chegam a conclusões idênticas. Esta pesquisa confirma tais resultados, mas referindo-se ao caso específico do solar PV, analisando o ano de 2015,

Quanto à variável referente ao Produto Interno Bruto (PIB), os resultados da estimação permitem comprovar a relação positiva entre esta variável e o investimento em solar fotovoltaico no ano de 2015. Chang *et al.* (2009) sugere que o nível económico de um país tem impacto no desenvolvimento das energias renováveis. A hipótese é de que países com um maior rendimento estão mais dispostos a investir em tecnologias inovadoras como as energias de fonte renovável, pois podem suportar mais facilmente os custos de desenvolvimento, e podem encorajar a sua disseminação através de incentivos económicos.

Relativamente à variável referente à capacidade instalada de energia hídrica (HIDRO) pode-se concluir acerca da relação positiva entre a capacidade existente de energia hídrica e o aumento de capacidade instalada de solar fotovoltaico. Confirma-se a existência de uma relação de complementaridade entre as duas tecnologias. Pode-se deduzir que, regra geral, os países com maiores níveis de instalações de energia hídrica, foram os que mais investiram em energia solar fotovoltaica, no ano de 2015. Na literatura, tal relação é abordada por Popp *et al.*, (2011) que concluem que os países com maior produção elétrica a partir da energia hídrica e nuclear apresentam menores níveis de capacidade instalada de energia renovável. No caso concreto do solar fotovoltaico, este estudo chega a conclusões diferentes. Ou seja, no caso da energia hídrica, como já referido, parece existir uma relação positiva entre ambas as tecnologias.

Quanto à variável referente à capacidade instalada de energia eólica (EÓLICA), deduz-se a presença de um efeito negativo quanto ao solar PV no ano de 2015. De um modo geral, os países com um maior nível de instalações de energia eólica, foram aqueles que apresentaram um investimento mais baixo em solar PV. Apesar de a literatura não comprovar os resultados desta análise, este trabalho permite apontar para uma relação de substituíbilidade entre ambas as fontes de energia, pelo menos para o ano em estudo.

Por último, interessa analisar o resultado de outras variáveis, que apesar de neste estudo não se terem revelado significativas, existe algum consenso na literatura sobre os seus efeitos.

No caso da energia nuclear (NUCLEAR), o trabalho protagonizado por Aguirre e Ibikunle (2014) confirma a existência de uma relação negativa, mas altamente

significativa entre a participação da energia nuclear na geração elétrica e a capacidade instalada de energias renováveis. No caso específico do solar PV, este estudo não nos permite estabelecer qualquer relação quanto a esse efeito.

No entanto, tem-se verificado que por razões de segurança ambiental e também em virtude da ocorrência do desastre nuclear de Fukushima em 2011, vários países, sobretudo no continente europeu, tem acelerado as políticas energéticas com o objetivo de substituir a produção nuclear de eletricidade por outras fontes de energia. Desse facto, poderá surgir um incentivo para um maior investimento em energia solar, à medida que a contribuição da energia nuclear se reduz.

Os resultados permitem igualmente considerar que a preocupação com a dependência energética não se revela um dos principais fatores indutores do investimento em solar PV. A percentagem de importações de energia de um país não apresenta, neste modelo, e considerando o ano de 2015, um resultado suficientemente significativo. Como afirma Popp *et al.* (2011) e Arvizu *et al.*, 2011 *apud* Edenhofer *et al.*, (2013), o potencial das energias renováveis para substituir as importações de energia, sobretudo de petróleo, parece ainda limitado. Como constata Borenstein (2012), em vez do seu potencial de aumento da segurança energética, a vantagem comparativa da utilização das energias renováveis reside nos seus benefícios ambientais.

Quanto às variáveis políticas, como já referido, é inegável o papel decisivo que as autoridades publicas tiveram e têm tido no crescimento das energias verdes. Contudo, por limitações de diversa ordem, torna-se difícil proceder à quantificação, através de modelos estatísticos, do seu impacto. As variáveis políticas utilizadas neste modelo, referentes a um indicador de estabilidade política e a um indicador da qualidade regulatória, apresentam resultados pouco significativos e sem influência.

## 5. Conclusões

Este trabalho teve como principal propósito a exposição dos fatores influenciadores do investimento mundial no caso específico da energia solar fotovoltaica. Pelo facto de esta tecnologia ter ainda pouca expressão na matriz energética mundial, mas apresentar, de acordo com várias organizações mundiais, um grande potencial de crescimento, revelou-se como intenção contribuir para o aprofundamento do estudo nesta temática.

Teve-se como intuito demonstrar a influência positiva das políticas regulatórias e os efeitos do progresso e difusão tecnológica no desenvolvimento do setor. Além da análise descritiva dos *drivers* do investimento, realizou-se um estudo quantitativo, através da utilização de métodos econométricos, em que pretendeu-se abordar o investimento mundial nesta tecnologia no ano de 2015.

Quanto aos resultados alcançados, conclui-se que o investimento solar PV é principalmente afetado pelas emissões de CO<sub>2</sub>, pela capacidade instalada de energia eólica, e pelo nível do PIB, e de um modo menos significativo pelo consumo de eletricidade e pela capacidade instalada de energia hidroelétrica.

A principal limitação deste estudo decorre da carência de informação detalhada, quer técnica quer económica referente a uma tecnologia inovadora como o solar fotovoltaico. Como considera Christensen e Hain (2017), apesar do progresso recente na divulgação de dados, acerca do investimento em fontes renováveis de energia, ainda não estamos numa posição que nos permita compreender completamente o investimento neste tipo de tecnologias.

O trabalho realizado contribui para a literatura, nomeadamente no domínio económico das novas tecnologias de energia. Aponta-se a escassez da literatura referente aos determinantes do investimento em solar PV, nomeadamente numa amostra de vasta amplitude. Relativamente ao modelo econométrico, procedemos ao estudo do investimento mundial de solar fotovoltaico através de variáveis ainda pouco estudadas na literatura. É exemplo a análise de uma variável que reflete os custos de produção (LCOE) como fator explicativo e diferenciador do investimento em solar fotovoltaico entre países.



Relativamente aos resultados do modelo, a literatura existente sobre a análise do investimento das energias renováveis é ainda bastante limitada. No entanto os resultados alcançados corroboram a maior parte dos estudos efetuados.

Para investigação futura, sugere-se a análise do comportamento do investimento em energia solar fotovoltaica num horizonte temporal mais alargado, se tal for possível tendo em conta a disponibilidade de dados. Seria igualmente interessante a análise do investimento em períodos de crise económica, como por exemplo, o que sucedeu ao investimento em solar PV nos anos de 2011 e 2012.

## Referências Bibliográficas

- Abolhosseini, S., e Heshmati, A. (2014). "The main support mechanisms to finance renewable energy development". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 876-885.
- Aguirre, M., e Ibikunle, G. (2014). "Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis". *Energy Policy*, 69, 374-384.
- Al Khattab, A., Anchor, J., e Davies, E. (2007). "Managerial perceptions of political risk in international projects". *International Journal of Project Management*, 25(7), 734-743.
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., . . . Pimentel, D. (1995). "Economic growth, carrying capacity, and the environment". *Ecological Economics*, 15(2), 91-95.
- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by Doing". *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173.
- Avril, S., Mansilla, C., Busson, M., e Lemaire, T. (2012). "Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries". *Energy Policy*, 51, 244-258.
- Bazilian, M., Onyeji, I., Liebreich, M., MacGill, I., Chase, J., Shah, J., . . . Zhengrong, S. (2013). "Re-considering the economics of photovoltaic power". *Renewable Energy*, 53, 329-338.
- Bhandari, R., e Stadler, I. (2009). "Grid parity analysis of solar photovoltaic systems in Germany using experience curves". *Solar Energy*, 83(9), 1634-1644.
- Bhattacharyya, S. C. (2011). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*, Londres: Springer.
- Borenstein, S. (2012). "The Private and Public Economics of Renewable Electricity Generation". *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 67-92.
- Breyer, C., e Gerlach, A. (2013). "Global overview on grid-parity". *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 121-136.
- Cadoret, I., e Padovano, F. (2016). "The political drivers of renewable energies policies". *Energy Economics*, 56, 261-269.

- Calzada, G., Merino, R., Rallo, J., e Garca, J. (2010). *Study of the effects on employment of public aid to renewable energy sources*, Madrid:  
[https://www.michigan.gov/documents/energy/090327-employment-public-aid-renewable\\_419853\\_7.pdf](https://www.michigan.gov/documents/energy/090327-employment-public-aid-renewable_419853_7.pdf), acedido em 15 de Maio de 2017
- Campoccia, A., Dusonchet, L., Telaretti, E., e Zizzo, G. (2009). "Comparative analysis of different supporting measures for the production of electrical energy by solar PV and Wind systems: Four representative European cases". *Solar Energy*, 83(3), 287-297.
- Candelise, C., Winskel, M., e Gross, R. J. K. (2013). "The dynamics of solar PV costs and prices as a challenge for technology forecasting". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 96-107.
- Cansino, J. M., Pablo-Romero, M. d. P., Román, R., e Yñiguez, R. (2010). "Tax incentives to promote green electricity: An overview of EU-27 countries". *Energy Policy*, 38(10), 6000-6008.
- Chang, T.-H., Huang, C.-M., e Lee, M.-C. (2009). "Threshold effect of the economic growth rate on the renewable energy development from a change in energy price: Evidence from OECD countries". *Energy Policy*, 37(12), 5796-5802.
- Christensen, J. L., e Hain, D. S. (2017). "Knowing where to go: The knowledge foundation for investments in renewable energy". *Energy Research & Social Science*, 25, 124-133.
- Ciarreta, A., Espinosa, M. P., e Pizarro-Irizar, C. (2014). "Is green energy expensive? Empirical evidence from the Spanish electricity market". *Energy Policy*, 69, 205-215.
- Cohen, W. M., e Levinthal, D. A. (1989). "Innovation and Learning: The Two Faces of R&D". *The Economic Journal*, 99(397), 569-596.
- Comissão Europeia. (2015). Trends in global CO2 emissions: 2015 Report, The Hague:  
[http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-trends-in-global-co2-emissions\\_2015-report\\_01803.pdf](http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2015-trends-in-global-co2-emissions_2015-report_01803.pdf), acedido em 8 de Maio de 2017
- Comissão Europeia. (2017). Renewable Energy Progress Report, Bruxelas:  
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/EN/COM-2017-57-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>, acedido em 15 de Maio de 2017
- Couture, T., e Gagnon, Y. (2010). "An analysis of feed-in tariff remuneration models:

- Implications for renewable energy investment". *Energy Policy*, 38(2), 955-965.
- Darling, S. B., You, F., Veselka, T., e Velosa, A. (2011). "Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics". *Energy & Environmental Science*, 4, 3133-3139.
- de la Tour, A., Glachant, M., e Ménière, Y. (2011). "Innovation and international technology transfer: The case of the Chinese photovoltaic industry". *Energy Policy*, 39(2), 761-770.
- Dinçer, F. (2011). "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713-720.
- Dinica, V. (2006). "Support systems for the diffusion of renewable energy technologies—an investor perspective". *Energy Policy*, 34(4), 461-480.
- Edenhofer, O., Hirth, L., Knopf, B., Pahle, M., Schlömer, S., Schmid, E., e Ueckerdt, F. (2013). "On the economics of renewable energy sources". *Energy Economics*, 40, S12-S23.
- EIA. (2016). International Energy Outlook 2016, [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf), acessado em 10 de junho de 2017
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., e Blaabjerg, F. (2014). "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Fraunhofer ISE. (2015). Current and Future Cost of Photovoltaics. Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems. Study on behalf of Agora Energiewende, [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studien/AgoraEnergiewende\\_Current\\_and\\_Future\\_Cost\\_of\\_PV\\_Feb2015\\_web.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studien/AgoraEnergiewende_Current_and_Future_Cost_of_PV_Feb2015_web.pdf), acessado em 20 de maio de 2017
- Fraunhofer ISE. (2017a). Photovoltaics Report, Friburgo: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studien/Photovoltaics-Report.pdf>, acessado em 15 de Abril de 2017
- Fraunhofer ISE. (2017b). Recent Facts about Photovoltaics in Germany, Friburgo: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studien>

[s/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf](#), acessado em 10 de Maio de 2017

- Fronzel, M., Ritter, N., Schmidt, C. M., e Vance, C. (2010). "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience". *Energy Policy*, 38(8), 4048-4056.
- Gan, L., Eskeland, G. S., e Kolshus, H. H. (2007). "Green electricity market development: Lessons from Europe and the US". *Energy Policy*, 35(1), 144-155.
- Gerhardt, C. (2017). "Germany's Renewable Energy Shift: Addressing Climate Change". *Capitalism Nature Socialism*, 28(2), 103-119.
- Grau, T., Huo, M., e Neuhoﬀ, K. (2012). "Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China". *Energy Policy*, 51, 20-37.
- Griffiths, S. (2013). "Strategic considerations for deployment of solar photovoltaics in the Middle East and North Africa". *Energy Strategy Reviews*, 2(1), 125-131.
- Gross, R., Blyth, W., e Heptonstall, P. (2010). "Review: Risks, revenues and investment in electricity generation: Why policy needs to look beyond costs". *Energy Economics*, 32(4), 796-804.
- IEA. (2016). *CO2 emissions from fuel combustion Highlights*, Paris:  
[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion\\_Highlights\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf), acessado em 15 de junho de 2017
- IEA & NEA. (2005). *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, Paris:  
<https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2005/5968-projected-costs.pdf>, acessado em 5 de março de 2017
- IEA & NEA. (2010). *Projected Costs of Generating Electricity: 2010 Edition*, Paris:  
[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected\\_costs.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf), acessado em 5 de março de 2017
- IEA & NEA. (2015). *Projected Costs of Generating Electricity: 2015 Edition*, Paris:  
<https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>,  
acessado em 5 de março de 2017
- IRENA. (2016b). *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*, Bona:  
[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Power\\_to\\_Change\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf), acessado em 18 de Abril de 2017

- IRENA. (2017a). *Renewable capacity statistics 2017*, Abu Dhabi:  
[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2017.pdf), acessado em 05 de Maio de 2017
- IRENA. (2017b). *REthinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation*, Abu Dhabi:  
[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_REthinking\\_Energy\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REthinking_Energy_2017.pdf), acessado em 16 de Maio de 2017
- Jacobsson, S., e Johnson, A. (2000). "The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research". *Energy Policy*, 28(9), 625-640.
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., e Stavins, R. N. (2005). "A tale of two market failures: Technology and environmental policy". *Ecological Economics*, 54(2), 164-174.
- Jenner, S., Groba, F., e Indvik, J. (2013). "Assessing the strength and effectiveness of renewable electricity feed-in tariffs in European Union countries". *Energy Policy*, 52, 385-401.
- Johnstone, N., Haščič, I., e Popp, D. (2010). "Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts". *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133-155.
- Kahouli-Brahmi, S. (2008). "Technological learning in energy–environment–economy modelling: A survey". *Energy Policy*, 36(1), 138-162.
- Karaveli, A. B., Soytaş, U., e Akinoglu, B. G. (2015). "Comparison of large scale solar PV (photovoltaic) and nuclear power plant investments in an emerging market". *Energy*, 84, 656-665.
- Karneyeva, Y., e Wüstenhagen, R. (2017). "Solar feed-in tariffs in a post-grid parity world: The role of risk, investor diversity and business models". *Energy Policy*, 106, 445-456.
- Kaufmann, D., Kraay, A., e Mastruzzi, M. (2010). "The Worldwide Governance Indicators: A Summary of Methodology, Data and Analytical Issues". *World Bank Policy Research Working Paper No. 5430*:  
[http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1682130](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1682130)
- Kim, T., Lee, D.-J., e Koo, S. (2014). "Determining the scale of R&D investment for renewable energy in Korea using a comparative analogy approach". *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews*, 37, 307-317.
- Kobos, P. H., Erickson, J. D., e Drennen, T. E. (2006). "Technological learning and renewable energy costs: implications for US renewable energy policy". *Energy Policy*, 34(13), 1645-1658.
- Lin, B., e Wesseh, P. K. (2013). "Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation: A real options analysis". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 474-482.
- Marques, A. C., e Fuinhas, J. A. (2011). "Drivers promoting renewable energy: A dynamic panel approach". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1601-1608.
- Marques, A. C., Fuinhas, J. A., e Pires Manso, J. R. (2010). "Motivations driving renewable energy in European countries: A panel data approach". *Energy Policy*, 38(11), 6877-6885.
- Miketa, A., e Schrattenholzer, L. (2004). "Experiments with a methodology to model the role of R&D expenditures in energy technology learning processes; first results". *Energy Policy*, 32(15), 1679-1692.
- Nemet, G. F. (2009). "Interim monitoring of cost dynamics for publicly supported energy technologies". *Energy Policy*, 37(3), 825-835.
- Ondraczek, J., Komendantova, N., e Patt, A. (2015). "WACC the dog: The effect of financing costs on the levelized cost of solar PV power". *Renewable Energy*, 75, 888-898.
- Pablo-Romero, M. P. (2013). "Solar Energy: Incentives to Promote PV in EU27". *AIMS Energy*, 1(1), 28-47.
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez-Braza, A., e Pérez, M. (2013). "Incentives to promote solar thermal energy in Spain". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 198-208.
- Papaefthimiou, S., Souliotis, M., e Andriosopoulos, K. (2016). "Grid Parity of Solar Energy: Imminent Fact or Future's Fiction?". *Energy Journal*, 37, 263-276.
- Parente, V., Goldemberg, J., e Zilles, R. (2002). "Comments on experience curves for PV modules". *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 10(8), 571-574.
- Peng, J., Lu, L., e Yang, H. (2013). "Review on life cycle assessment of energy payback

- and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 255-274.
- Pietzcker, R. C., Stetter, D., Manger, S., e Luderer, G. (2014). "Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaics and concentrating solar power". *Applied Energy*, 135, 704-720.
- Pillai, U. (2015). "Drivers of cost reduction in solar photovoltaics". *Energy Economics*, 50, 286-293.
- Popp, D., Hascic, I., e Medhi, N. (2011). "Technology and the diffusion of renewable energy". *Energy Economics*, 33(4), 648-662.
- Poullikkas, A. (2013). "A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 3, 1-8.
- Pyrgou, A., Kylili, A., e Fokaides, P. A. (2016). "The future of the Feed-in Tariff (FiT) scheme in Europe: The case of photovoltaics". *Energy Policy*, 95, 94-102.
- REN21. (2009). *Background Paper: Chinese Renewables Status Report*, [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/Background\\_Paper\\_Chinese\\_Renewables\\_Status\\_Report\\_2009.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/Background_Paper_Chinese_Renewables_Status_Report_2009.pdf), acedido em 2 de setembro de 2017
- REN21. (2017). *Renewables 2017 Global Status Report*, Paris: [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399\\_GSR\\_2017\\_Full\\_Report\\_0621\\_Opt.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf), acedido em 20 de julho de 2017
- Sadorsky, P. (2009). "Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries". *Energy Economics*, 31(3), 456-462.
- Sampaio, P. G. V., e González, M. O. A. (2017). "Photovoltaic solar energy: Conceptual framework". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601.
- Sarzynski, A., Larrieu, J., e Shrimali, G. (2012). "The impact of state financial incentives on market deployment of solar technology". *Energy Policy*, 46, 550-557.
- Schmidt, T. S. (2014). "Low-carbon investment risks and de-risking". *Nature Climate Change*, 4(4), 237-239.
- Seel, J., Barbose, G. L., e Wiser, R. H. (2014). "An analysis of residential PV system price differences between the United States and Germany". *Energy Policy*, 69, 216-226.



- Sharma, N. K., Tiwari, P. K., e Sood, Y. R. (2012). "Solar energy in India: Strategies, policies, perspectives and future potential". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 933-941.
- Silveira, J. L., Tuna, C. E., e Lamas, W. d. Q. (2013). "The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 133-141.
- Sisodia, G. S., Soares, I., e Ferreira, P. (2016). "The effect of sample size on European Union's renewable energy investment drivers". *Applied Economics*, 48, 5129-5137.
- Strunz, S. (2014). "The German energy transition as a regime shift". *Ecological Economics*, 100, 150-158.
- Swift, K. D. (2013). "A comparison of the cost and financial returns for solar photovoltaic systems installed by businesses in different locations across the United States". *Renewable Energy*, 57, 137-143.
- Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., e Narbel, P. A. (2012). "Solar energy: Markets, economics and policies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 449-465.
- UNEP & BNEF. (2016). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2016*, Frankfurt: [http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres\\_0.pdf](http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf), acedido em 05 de Junho de 2017
- van Rooijen, S. N. M., e van Wees, M. T. (2006). "Green electricity policies in the Netherlands: an analysis of policy decisions". *Energy Policy*, 34(1), 60-71.
- Wiesenthal, T., Mercier, A., Schade, B., Petric, H., e Dowling, P. (2012). "A model-based assessment of the impact of revitalised R&D investments on the European power sector". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 105-112.
- Wright, T. P. (1936). "Factors Affecting the Cost of Airplanes". *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3(4), 122-128.
- Wüstenhagen, R., e Bilharz, M. (2006). "Green energy market development in Germany: effective public policy and emerging customer demand". *Energy Policy*, 34(13), 1681-1696.

- Yu, C. F., van Sark, W. G. J. H. M., e Alsema, E. A. (2011). "Unraveling the photovoltaic technology learning curve by incorporation of input price changes and scale effects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 324-337.
- Yu, H. J. J., Popiolek, N., e Geoffron, P. (2016). "Solar photovoltaic energy policy and globalization: a multiperspective approach with case studies of Germany, Japan, and China". *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, (4), 458–476.
- Zelenika-Zovko, I., e Pearce, J. M. (2011). "Diverting indirect subsidies from the nuclear industry to the photovoltaic industry: Energy and financial returns". *Energy Policy*, 39(5), 2626-2632.
- Zhang, F., e Gallagher, K. S. (2016). "Innovation and technology transfer through global value chains: Evidence from China's PV industry". *Energy Policy*, 94, 191-203.
- Zhang, S., Andrews-Speed, P., e Ji, M. (2014). "The erratic path of the low-carbon transition in China: Evolution of solar PV policy". *Energy Policy*, 67, 903-912.
- Zhang, S., e He, Y. (2013). "Analysis on the development and policy of solar PV power in China". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 393-401.
- Zhao, R., Shi, G., Chen, H., Ren, A., e Finlow, D. (2011). "Present status and prospects of photovoltaic market in China". *Energy Policy*, 39(4), 2204-2207.

## Anexos

Anexo 1 - LCOE de um sistema de larga escala de energia solar PV em 2015 em dólares americanos por MWh (USD por MWh); Fonte: Fraunhofer ISE (2015)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Médio</b>
África do Sul	ZA	115,70	167,53	141,62
Alemanha	DE	135,31	205,97	170,64
Argélia	DZ	92,46	127,85	110,15
Argentina	AR	97,04	223,38	160,21
Austrália	AU	89,96	176,55	133,26
Áustria	AT	133,14	176,55	154,85
Bélgica	BE	158,51	195,13	176,82
Bósnia-Herzegovina	BA	123,28	168,52	145,90
Brasil	BR	92,46	161,20	126,83
Bulgária	BG	128,02	161,20	144,61
Canadá	CA	114,78	205,97	160,38
Chile	CL	100,87	247,17	174,02
China	CN	95,10	161,20	128,15
Chipre	CY	95,10	119,60	107,35
Coreia do Sul	KR	111,42	128,87	120,14
Croácia	HR	123,28	168,52	145,90
Dinamarca	DK	151,30	176,55	163,93
Egipto	EG	87,59	115,86	101,73
Eslováquia	SK	151,30	195,13	173,22
Eslovénia	SI	128,02	161,20	144,61
Espanha	ES	87,59	137,32	112,46
Estados Unidos da América	US	85,35	137,32	111,33
Estónia	EE	133,14	161,20	147,17
Finlândia	FI	133,14	218,09	175,62
França	FR	107,37	185,38	146,38
Grécia	GR	92,46	142,60	117,53
Holanda	NL	151,30	205,97	178,64
Hungria	HU	138,69	168,52	153,61
Índia	IN	89,96	132,41	111,19
Irlanda	IE	158,51	231,72	195,11
Israel	IL	92,46	115,86	104,16
Itália	IT	100,87	154,48	127,67

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Médio</b>
Japão	JP	114,78	168,52	141,65
Letónia	LV	133,14	168,52	150,83
Lituânia	LT	138,69	176,55	157,62
Luxemburgo	LU	166,43	205,97	186,20
Malta	MT	88,48	101,54	95,01
Marrocos	MA	81,30	111,69	96,50
México	MX	85,35	119,60	102,47
Montenegro	ME	123,28	168,52	145,90
Noruega	NO	158,51	247,17	202,84
Nova Zelândia	NZ	184,92	247,17	216,05
Polónia	PL	158,51	195,13	176,82
Portugal	PT	100,87	142,60	121,73
Reino Unido	UK	144,72	231,72	188,22
República Checa	CZ	158,51	195,13	176,82
Roménia	RO	133,14	168,52	150,83
Sérvia	RS	138,69	168,52	153,61
Suécia	SE	133,14	247,17	190,16
Suíça	CH	133,14	176,55	154,85
Turquia	TR	95,10	137,32	116,21
Uruguai	UY	184,92	218,09	201,51

Anexo 2 - Capacidade Instalada Total de Energia Eólica e Energia Hídrica em 2015;

Fonte: IRENA (2017a)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Energia Hídrica</b>	<b>Energia Eólica</b>
África do Sul	ZA	2287,9	10,3
Alemanha	DE	11234	279
Argélia	DZ	228	4187
Argentina	AR	10065,7	2411
Austrália	AU	8048	2224,7
Áustria	AT	13333	0,3
Bélgica	BE	1429	8715
Bósnia-Herzegovina	BA	2043	700
Brasil	BR	92062	11205
Bulgária	BG	3221,6	904
Canadá	CA	79043	129340
Chile	CL	6513	268
China	CN	320910	422,7
Chipre	CY	0	157,5
Coreia do Sul	KR	6471,5	278
Croácia	HR	2195	610
Dinamarca	DK	9	341
Egito	EG	2850,8	1026,8
Eslováquia	SK	2523	10358
Eslovénia	SI	1296	44947
Espanha	ES	20184,2	2151,7
Estados Unidos da América	US	102543	329
Estónia	EE	5	25088
Finlândia	FI	3273	2486,2
França	FR	25421	6
Grécia	GR	4088	9126
Holanda	NL	37	3034,7
Hungria	HU	57	869,3
Índia	IN	46256,4	69
Irlanda	IE	529	424,3
Israel	IL	7	58,3
Itália	IT	22098	0
Japão	JP	49145,7	3073
Letónia	LV	1590	0

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Energia Hídrica</b>	<b>Energia Eólica</b>
Lituânia	LT	877	797
Luxemburgo	LU	1330	3431
Malta	MT	0	683
Marrocos	MA	1770	863
México	MX	12464	5100
Montenegro	ME	651	5079
Noruega	NO	31223	3244
Nova Zelândia	NZ	5263	9,9
Polónia	PL	2364	3
Portugal	PT	5745	4
Reino Unido	UK	4487	1053
República Checa	CZ	2257	23008
Roménia	RO	6613	6026
Sérvia	RS	3017	60
Suécia	SE	15996	4694
Suíça	CH	13743	14191
Turquia	TR	25867	845
Uruguai	UY	1538	72577,9

Anexo 3 - Capacidade Instalada de Energia Solar PV em 2014 e 2015 (em MW); Fonte: IRENA (2017a)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>Variação (2015-2014)</b>
África do Sul	ZA	922	1 122	200
Alemanha	DE	38 234	39 634	1 400
Argélia	DZ	3	274	271
Argentina	AR	8	8	0
Austrália	AU	4 004	5 031	1 027
Áustria	AT	785	935	150
Bélgica	BE	3 024	3 119	95
Bósnia-Herzegovina	BA	4	11	7
Brasil	BR	15	23	8
Bulgária	BG	1 026	1 032	6
Canadá	CA	1 843	2 443	600
Chile	CL	218	848	630
China	CN	28 050	43 180	15 130
Chipre	CY	64	85	21
Coreia do Sul	KR	2 481	3 173	692
Croácia	HR	33	44	11
Dinamarca	DK	607	790	183
Egito	EG	15	25	10
Eslováquia	SK	533	533	0
Eslovênia	SI	223	240	17
Espanha	ES	4 787	4 832	45
Estados Unidos da América	US	14 878	22 178	7 300
Estônia	EE	0	6	6
Finlândia	FI	11	11	0
França	FR	5 654	6 549	895
Grécia	GR	2 596	2 606	10
Holanda	NL	1 048	1 498	450
Hungria	HU	77	96	19
Índia	IN	3 059	4 964	1 904
Irlanda	IE	1	1	0
Israel	IL	670	766	96
Itália	IT	18 609	18 910	301
Japão	JP	23 300	33 300	10 000
Letônia	LV	0	2	2
Lituânia	LT	69	71	2
Luxemburgo	LU	110	120	10

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>Variação (2015-2014)</b>
Malta	MT	55	60	5
Marrocos	MA	17	18	1
México	MX	99	202	103
Montenegro	ME	1	1	0
Noruega	NO	13	14	1
Nova Zelândia	NZ	19	33	14
Polónia	PL	27	71	44
Portugal	PT	415	454	39
Reino Unido	UK	5 377	8 915	3 538
República Checa	CZ	2 068	2 084	16
Roménia	RO	1 293	1 301	8
Sérvia	RS	6	6	0
Suécia	SE	60	111	51
Suíça	CH	1 061	1 361	300
Turquia	TR	40	249	209
Uruguai	UY	4	68	64



Anexo 4 - *Worldwide Governance Indicators*, ranking por países em percentagem, ano de 2015; Fonte: Banco Mundial (2015)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b><i>Political Stability and Absence of Violence/Terrorism</i></b>	<b><i>Regulatory Quality</i></b>
África do Sul	ZA	38,57	63,94
Alemanha	DE	70,00	93,27
Argélia	DZ	13,33	10,58
Argentina	AR	44,76	16,83
Austrália	AU	76,67	96,63
Áustria	AT	90,48	91,35
Bélgica	BE	65,24	87,50
Bósnia-Herzegovina	BA	30,00	48,08
Brasil	BR	34,29	46,63
Bulgária	BG	49,52	71,15
Canadá	CA	93,81	94,23
Chile	CL	59,05	89,42
China	CN	27,14	44,23
Chipre	CY	61,43	80,77
Coreia do Sul	KR	52,38	84,13
Croácia	HR	63,33	64,90
Dinamarca	DK	76,19	94,71
Egito	EG	8,57	24,52
Eslováquia	SK	80,00	75,48
Eslovénia	SI	77,62	72,60
Espanha	ES	57,14	75,00
Estados Unidos da América	US	69,52	88,46
Estónia	EE	66,19	92,79
Finlândia	FI	87,14	98,08
França	FR	56,67	83,65
Grécia	GR	36,67	65,87
Holanda	NL	78,57	96,15
Hungria	HU	70,48	74,04
Índia	IN	16,67	39,90
Irlanda	IE	78,10	97,60
Israel	IL	11,43	87,02
Itália	IT	58,10	73,56
Japão	JP	82,38	85,10
Letónia	LV	60,00	81,73
Lituânia	LT	69,05	87,98
Luxemburgo	LU	97,62	93,75

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b><i>Political Stability and Absence of Violence/Terrorism</i></b>	<b><i>Regulatory Quality</i></b>
Malta	MT	87,62	84,62
Marrocos	MA	34,76	49,04
México	MX	17,62	66,35
Montenegro	ME	52,86	60,10
Noruega	NO	89,52	92,31
Nova Zelândia	NZ	99,05	99,04
Polónia	PL	75,71	80,29
Portugal	PT	75,24	79,33
Reino Unido	UK	62,38	98,56
República Checa	CZ	80,95	81,25
Roménia	RO	54,76	72,12
Sérvia	RS	55,71	56,73
Suécia	SE	81,43	97,12
Suíça	CH	95,24	95,67
Turquia	TR	9,52	64,42
Uruguai	UY	82,86	67,79

Anexo 5 - Emissões CO2 de 2015 referentes à utilização de combustíveis fósseis e produção de cimento (em kilotoneladas); Fonte: Comissão Europeia (2015)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2015</b>
África do Sul	ZA	417161
Alemanha	DE	777905
Argélia	DZ	147692
Argentina	AR	191199
Austrália	AU	446348
Áustria	AT	74244
Bélgica	BE	97002
Bósnia-Herzegovina	BA	24637
Brasil	BR	486229
Bulgária	BG	53432
Canadá	CA	555401
Chile	CL	81110
China	CN	10641789
Chipre	CY	6164
Coreia do Sul	KR	617285
Croácia	HR	20538
Dinamarca	DK	36908
Egito	EG	226985
Eslováquia	SK	36254
Eslóvenia	SI	15610
Espanha	ES	262683
Estados Unidos da América	US	5172338
Estónia	EE	29252
Finlândia	FI	48505
França	FR	327787
Grécia	GR	68292
Holanda	NL	165317
Hungria	HU	48186
Índia	IN	2454968
Irlanda	IE	36635
Israel	IL	65716
Itália	IT	352886
Japão	JP	1252890
Letónia	LV	7973
Lituânia	LT	12478

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2015</b>
Luxemburgo	LU	10235
Malta	MT	2353
Marrocos	MA	59246
México	MX	472018
Montenegro	ME	2248
Noruega	NO	43109
Nova Zelândia	NZ	33660
Polónia	PL	294879
Portugal	PT	50792
Reino Unido	UK	398524
República Checa	CZ	111092
Roménia	RO	81247
Sérvia	RS	44869
Suécia	SE	42496
Suíça	CH	40283
Turquia	TR	357157
Uruguai	UY	7395

Anexo 6 - Importações de energia líquidas, em percentagem do consumo de energia, referente ao ano de 2014 (Valores em %); Fonte: Banco Mundial (2015)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2014</b>
África do Sul	ZA	-14,48
Alemanha	DE	60,88
Argélia	DZ	-177,12
Argentina	AR	13,03
Austrália	AU	-192,016
Áustria	AT	62,42
Bélgica	BE	76,26
Bósnia-Herzegovina	BA	22,73
Brasil	BR	11,87
Bulgária	BG	36,55
Canadá	CA	-67,93
Chile	CL	64,20
China	CN	15,02
Chipre	CY	94,03
Coreia do Sul	KR	81,70
Croácia	HR	45,86
Dinamarca	DK	0,94
Egito	EG	-7,39
Eslováquia	SK	58,83
Eslovénia	SI	44,50
Espanha	ES	69,36
Estados Unidos da América	US	9,21
Estónia	EE	3,40
Finlândia	FI	46,20
França	FR	43,49
Grécia	GR	61,97
Holanda	NL	19,77
Hungria	HU	55,61
Índia	IN	34,31
Irlanda	IE	84,26
Israel	IL	67,05
Itália	IT	75,00
Japão	JP	93,98

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2014</b>
Letónia	LV	45,16
Lituânia	LT	75,04
Luxemburgo	LU	96,00
Malta	MT	98,38
Marrocos	MA	90,72
México	MX	-10,79
Montenegro	ME	27,57
Noruega	NO	-582,90
Nova Zelândia	NZ	17,08
Polónia	PL	28,39
Portugal	PT	71,67
Reino Unido	UK	39,67
República Checa	CZ	28,99
Roménia	RO	16,78
Sérvia	RS	28,78
Suécia	SE	28,27
Suíça	CH	47,05
Turquia	TR	74,21
Uruguai	UY	44,44

Anexo 7- Produto Interno Bruto (PIB) de 2015 a preços correntes, em dólares americanos; Fonte: Banco Mundial (2015)

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2015</b>
África do Sul	ZA	164 779 467 703
Alemanha	DE	584 711 485 367
Argélia	DZ	1 345 383 143 356
Argentina	AR	376 967 406 148
Austrália	AU	454 991 318 728
Áustria	AT	16 173 806 635
Bélgica	BE	1 803 652 649 614
Bósnia-Herzegovina	BA	50 199 117 547
Brasil	BR	1 552 807 652 015
Bulgária	BG	242 517 910 999
Canadá	CA	11 064 664 793 256
Chile	CL	48 676 334 689
China	CN	19 559 942 331
Chipre	CY	185 156 359 571
Coreia do Sul	KR	301 307 828 844
Croácia	HR	332 698 041 031
Dinamarca	DK	22 460 470 490
Egito	EG	232 361 689 855
Eslováquia	SK	2 433 562 015 516
Eslovênia	SI	3 363 599 907 530
Espanha	ES	194 860 187 692
Estados Unidos da América	US	121 715 203 208
Estónia	EE	2 111 751 098 185
Finlândia	FI	283 716 006 698
França	FR	299 415 714 727
Grécia	GR	1 824 902 219 022
Holanda	NL	4 383 076 298 082
Hungria	HU	1 382 764 027 114
Índia	IN	27 026 037 600
Irlanda	IE	41 402 022 148
Israel	IL	58 048 242 436
Itália	IT	10 287 007 021
Japão	JP	1 151 037 122 909
Letónia	LV	4 019 889 098

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2015</b>
Lituânia	LT	100 593 283 697
Luxemburgo	LU	750 318 056 806
Malta	MT	175 564 427 553
Marrocos	MA	386 578 443 733
México	MX	477 336 782 067
Montenegro	ME	199 082 291 239
Noruega	NO	177 522 705 145
Nova Zelândia	NZ	37 160 332 465
Polónia	PL	87 267 593 788
Portugal	PT	42 776 716 631
Reino Unido	UK	317 406 594 612
República Checa	CZ	1 192 955 480 686
Roménia	RO	495 694 356 612
Sérvia	RS	670 789 928 810
Suécia	SE	859 383 637 729
Suíça	CH	2 861 090 726 740
Turquia	TR	18 036 648 000 000
Uruguai	UY	53 274 304 215



Anexo 8 - Despesas em I&D em % do PIB por país; Fonte: UNESCO

País\ Ano	Sigla Internacional	2005	2010	2012	2013	2014	2015
África do Sul	ZA	0,86	0,74	0,73	0,72*		
Alemanha	DE	2,42	2,71	2,87	2,82	2,89	2,88*
Argélia	DZ	0,067*					
Argentina	AR	0,42	0,56	0,64	0,62	0,59*	
Austrália	AU		2,38	..	2,20*		
Áustria	AT	2,38	2,73	2,93	2,96	3,06	3,07*
Bélgica	BE	1,79	2,05	2,36	2,44	2,46	2,46*
Bósnia-Herzegovina	BA	0,03		0,27	0,32	0,26	0,22*
Brasil	BR	1,00	1,16	1,13	1,20	1,17*	
Bulgária	BG	0,44	0,56	0,60	0,63	0,79	0,96*
Canadá	CA	1,97	1,84	1,80	1,69	1,62*	
Chile	CL		0,33	0,36	0,39	0,38	0,38*
China	CN	1,31	1,71	1,91	1,99	2,02	2,07*
Chipre	CY	0,36	0,45	0,43	0,46	0,48	0,46*
Coreia do Sul	KR	2,63	3,45	4,02	4,15	4,28	4,23*
Croácia	HR	0,86	0,74	0,75	0,81	0,79	0,85*
Dinamarca	DK	2,39	2,93	3,01	3,02	2,98	3,02*
Egito	EG	0,24	0,43	0,51	0,65	0,65	0,72*
Eslováquia	SK	0,49	0,62	0,80	0,82	0,88	1,18*
Eslovénia	SI	1,41	2,06	2,58	2,60	2,38	2,21*
Espanha	ES	1,10	1,35	1,29	1,26	1,23	1,22*

<b>País\ Ano</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Estados Unidos da América	US	2,50	2,73	2,70	2,74	2,75	2,79*
Estónia	EE	0,92	1,58	2,12	1,73	1,45	1,50*
Finlândia	FI	3,34	3,73	3,42	3,29	3,18	2,90*
França	FR	2,05	2,17	2,23	2,23	2,24	2,23*
Grécia	GR	0,58	0,60	0,70	0,81	0,84	0,96*
Holanda	NL	1,79	1,72	1,94	1,95	2,00	2,01*
Hungria	HU	0,92	1,14	1,27	1,40	1,36	1,38*
Índia	IN	0,81	0,82				0,63*
Irlanda	IE	1,19	1,60	1,55	1,56	1,51*	
Israel	IL	4,04	3,94	4,16	4,14	4,29	4,27*
Itália	IT	1,05	1,23	1,27	1,31	1,38	1,33*
Japão	JP	3,18	3,14	3,21	3,32	3,40	3,28*
Letónia	LV	0,53	0,61	0,67	0,61	0,69	0,63*
Lituânia	LT	0,75	0,78	0,90	0,95	1,03	1,04*
Luxemburgo	LU	1,59	1,53	1,29	1,30	1,29	1,29*
Malta	MT	0,53	0,62	0,83	0,77	0,75	0,77*
Marrocos	MA		0,71*				
México	MX	0,40	0,54	0,49	0,50	0,54	0,55*
Montenegro	ME	0,92			0,37	0,36	0,38*
Noruega	NO	1,48	1,65	1,62	1,65	1,72	1,93*
Nova Zelândia	NZ	1,12			1,15*		
Polónia	PL	0,56	0,72	0,88	0,87	0,94	1,00*
Portugal	PT	0,76	1,53	1,38	1,33	1,29	1,28*
Reino Unido	UK	1,57	1,68	1,61	1,66	1,68	1,70*

<b>País\ Ano</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
República Checa	CZ	1,17	1,34	1,78	1,90	1,97	1,95*
Roménia	RO	0,41	0,45	0,48	0,39	0,38	0,49*
Sérvia	RS	0,42	0,74	0,91	0,73	0,77	0,87*
Suécia	SE	3,38	3,22	3,29	3,31	3,14	3,26*
Suíça	CH			2,97*			
Turquia	TR	0,59	0,84	0,92	0,94	1,01*	
Uruguai	UY		0,34	0,33	0,32	0,34*	

\* observação utilizada no modelo, referente ao último ano disponível.

Anexo 9 -Produção de Eletricidade a partir de energia nuclear (em % do total)

<b>País</b>	<b>Sigla</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Argentina	AR	4,07	n.d
Bélgica	BE	47,17	38,94*
Brasil	BR	2,60*	n.d
Bulgária	BG	33,81*	n.d
Canadá	CA	16,41	16,51*
China	CN	2,34*	n.d
República Checa	CZ	35,69	32,49*
Finlândia	FI	34,63	33,90*
França	FR	78,36	77,67*
Alemanha	DE	15,62	14,22*
Hungria	HU	53,28	52,45*
Índia	IN	2,80*	n.d
Japão	JP	0,00	0,94*
Coreia do Sul	KR	28,65	30,23*
México	MX	3,21	3,77*
Holanda	NL	3,96	3,51*
Roménia	RO	17,91*	n.d
Eslováquia	SK	57,09	58,16*
Eslovénia	SI	37,11	38,14*
África do Sul	ZA	5,53*	n.d
Espanha	ES	20,84	20,66*
Suécia	SE	42,25	34,85*
Suíça	CH	39,31	35,05*
Reino Unido	UK	18,97	20,98*
Estados Unidos da América	US	19,23	19,35*

\* observação utilizada no modelo, refere-se ao último ano disponível.

Anexo 10 - Consumo de Eletricidade em Kwh para os anos de 2014, 2015 e 2016

Fonte: CIA, *The World Factbook*<sup>11</sup>

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Valor</b>	<b>Ano</b>
África do Sul	ZA	212000000000	2014
Alemanha	DE	530600000	2014
Argélia	DZ	49000000000	2014
Argentina	AR	116000000000	2014
Austrália	AU	224000000000	2014
Áustria	AT	69950000000	2014
Bélgica	BE	81200000000	2015
Bósnia e Herzegovina	BA	11000000000	2014
Brasil	BR	518000000000	2014
Bulgária	BG	33910000000	2016
Canadá	CA	528000000000	2014
Chile	CL	66000000000	2014
China	CN	5920000000000	2016
Chipre	CY	3900000000	2014
Coreia do Sul	KR	495000000000	2014
Croácia	HR	16970000000	2014
Dinamarca	DK	33300000000	2015
Egito	EG	143000000000	2014
Eslováquia	SK	29550000000	2015
Eslovênia	SI	14570000000	2016
Espanha	ES	234000000000	2014
Estados Unidos da América	US	3913000000000	2014
Estônia	EE	8200000000	2014
Finlândia	FI	82490000000	2015
França	FR	415300000000	2014
Grécia	GR	53000000000	2014
Holanda	NL	119600000000	2016
Hungria	HU	38000000000	2014
Índia	IN	973000000000	2014
Irlanda	IE	25000000000	2014
Israel	IL	59830000000	2014
Itália	IT	297000000000	2015
Japão	JP	934000000000	2014
Letônia	LV	6800000000	2014

<sup>11</sup> <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2233rank.html> acessado a 08 de Junho de 2017

<b>País</b>	<b>Sigla Internacional</b>	<b>Valor</b>	<b>Ano</b>
Lituânia	LT	9900000000	2014
Luxemburgo	LU	6200000000	2014
Malta	MT	2114000000	2014
Marrocos	MA	29000000000	2014
México	MX	238000000000	2014
Montenegro	ME	2800000000	2014
Noruega	NO	133100000000	2016
Nova Zelândia	NZ	40000000000	2014
Polónia	PL	142000000000	2014
Portugal	PT	46000000000	2014
Reino Unido	UK	309000000000	2014
Republica Checa	CZ	60000000000	2014
Roménia	RO	48000000000	2014
Sérvia	RS	26780000000	2016
Suécia	SE	126800000000	2015
Suíça	CH	62630000000	2015
Turquia	TR	207000000000	2014
Uruguai	UY	10000000000	2014

# Anexo 11 - Resultados Completos da Estimação

Dependent Variable: SOLAR Method: Least Squares Date: 07/17/17 Time: 20:10 Sample: 1 52 Included observations: 52				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1309.745	882.5195	-1.484098	0.1456
CO2	0.003981	0.001127	3.531883	0.0011
CONS	-4.70E-09	2.16E-09	-2.177359	0.0354
EOLICA	-0.119965	0.035169	-3.411118	0.0015
HIDRO	0.023782	0.012104	1.964794	0.0564
ID	193.6812	217.9219	0.888764	0.3794
IMPORT	-549.5912	373.4038	-1.471841	0.1489
LCOE	8.098886	6.844045	1.183348	0.2437
NUCLEAR	81.45923	373.7547	0.217948	0.8286
PIB	7.21E-10	2.41E-10	2.988009	0.0048
POLIT	-4.563602	7.627142	-0.598337	0.5530
REGUL	4.778115	12.15863	0.392981	0.6964
R-squared	0.856132	Mean dependent var	882.4769	
Adjusted R-squared	0.816568	S.D. dependent var	2669.892	
S.E. of regression	1143.488	Akaike info criterion	17.12073	
Sum squared resid	52302576	Schwarz criterion	17.57102	
Log likelihood	-433.1389	Hannan-Quinn criter.	17.29336	
F-statistic	21.63926	Durbin-Watson stat	2.285286	
Prob(F-statistic)	0.000000			